

AUS DEM INHALT:

**HERAUSGEBER**  
**IM AUFTRAG DES VORSTANDES DER GAMM E.V.:**  
**PROF. DR.-ING. JÖRG SCHRÖDER**  
**UNIVERSITÄT DUISBURG-ESSEN**  
**PROF. DR. AXEL KLAWONN**  
**UNIVERSITÄT ZU KÖLN**

**THOMAS WICK:**  
**ZIELORIENTIERTE NUMERIK FÜR**  
**MULTIPHYSIKSIMULATIONEN**

**TOBIAS GLEIM UND DETLEF KUHL:**  
**RUNGE-KUTTA ZEITINTEGRATIONSVERFAHREN**  
**MIT EINGEBETTETEN FEHLERSCHÄTZERN FÜR**  
**DIE ELEKTROMAGNETISCHE INDUKTION**

**2/2018**

**JUNGE WISSENSCHAFTLER:**  
**KATHRIN FLASSKAMP**  
**MARC-ANDRÉ KEIP**

Herausgeber:  
 Prof. Dr.-Ing. Jörg Schröder  
 Universität Duisburg-Essen  
 Prof. Dr. Axel Klawonn  
 Universität zu Köln

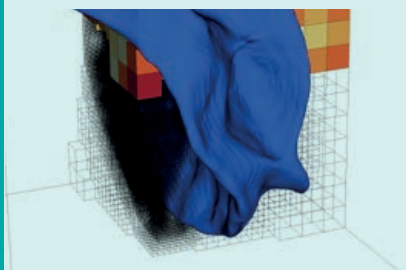
Schriftleitung:  
 Prof. Dr.-Ing. Jörg Schröder  
 Universität Duisburg-Essen  
 Institut für Mechanik  
 Universitätsstraße 15  
 45117 Essen  
 Tel.: +49 (0)201 / 183-2708  
 Fax: +49 (0)201 / 183-2708  
 E-Mail: j.schroeder@uni-due.de

Anzeigenverwaltung  
 GAMM Geschäftsstelle  
 c/o Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kaliske  
 Institut für Statik und Dynamik der  
 Tragwerke  
 Fakultät Bauingenieurwesen  
 Technische Universität Dresden  
 01062 Dresden  
 Tel.: +49 (0)351 / 46333448  
 E-Mail: GAMM@mailbox.tu-dresden.de

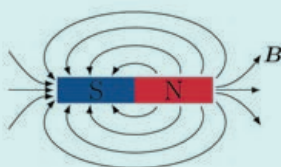
Gestaltung:  
 Dr. Hein Werbeagentur GmbH, Köln  
 www.heinagentur.de  
 Peter Liffers, Dortmund  
 www.liffers-webdesign.de

Druck:  
 Bauer & Frischluft Werbung GmbH  
 Gutenbergstr. 3  
 84069 Schierling  
 Tel.: +49 9451 943024  
 Fax.: +49 9451 1837  
 E-Mail: sr@bauer-frischluft-werbung.de  
 www.bauer-frischluft-werbung.de

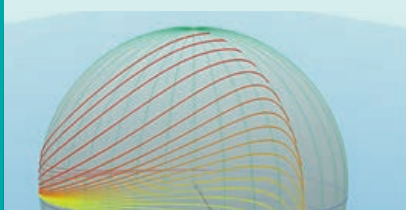
**4 Zielorientierte Numerik für Multiphysiksimulationen**  
 von Thomas Wick



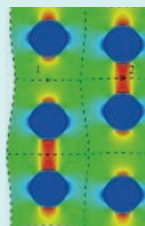
**12 Runge-Kutta Zeitintegrationsverfahren mit eingebetteten Fehlerschätzern für die Elektromagnetische Induktion**  
 von Tobias Gleim & Detlef Kuhl



**21 Steckbrief Kathrin Flaßkamp**



**23 Steckbrief Marc-André Keip**



**27 YAMM lunch: How to balance an academic career and family**  
 von Lutz Pauli & Benjamin Unger

**29 Laudatio auf den Gastredner Vassios Theofilis bei der Ludwig-Prandtl-Gedächtnislesung**  
 von Martin Oberlack

**32 GAMM 2018 in München**  
 Von Gerhard Müller & Michael Ulbrich

**34 GAMM 2018 in München: Opening Speech**  
 von Heike Faßbender

**36 Beschlussprotokoll zur Jahreshauptversammlung 2018**

**38 Bericht der Präsidentin zur Hauptversammlung GAMM 2018**

**41 Wissenschaftliche Veranstaltungen**

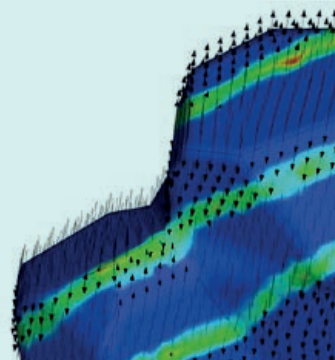
**42 Richard-von-Mises-Preis 2018**

**44 Aufruf: Nachwuchs-Minisymposien**

**45 Aufruf: Wahlen zum Vorstandsrat**

**46 Vorstand der GAMM**

**47 Ehrenmitglieder der GAMM**





## LIEBE LESERIN, LIEBER LESER, LIEBE GAMM-MITGLIEDER,

in der zweiten Ausgabe des GAMM Rundbriefs 2018 schauen wir auf das Zusammen-  
treffen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus der angewandten Mathe-  
matik und Mechanik auf der 89. GAMM Jahrestagung in München zurück. Mehr als  
1300 Teilnehmer machten die Tagung zu einem vollen Erfolg, deren Programm neben  
Hauptvorträgen, Minisymposia und Beiträgen aus DFG-Schwerpunktprogrammen über  
850 Vorträge in 24 Sektionen umfasste. Gerhard Müller und Michael Ulbrich berichten  
in dieser Ausgabe ausführlich über die Veranstaltung. Die Eröffnungsrede unserer Prä-  
sidentin Heike Faßbender und ihr Bericht zur Hauptversammlung in München 2018 sind  
ebenfalls in dieser Ausgabe nachzulesen.

An dieser Stelle danken wir den Organisatoren, der TU München sowie allen Unterstüt-  
zern für eine gelungene Konferenz herzlich. Im nächsten Jahr lädt die TU Wien vom 18.  
bis 22. Februar zur 90. GAMM Jahrestagung ein.

Die Leitartikel dieser Ausgabe wurden von Thomas Wick zum Thema der Multiphysik-  
simulationen sowie von Tobias Gleim und Detlef Kuhl mit dem Titel „Runge-Kutta Zeit-  
integrationsverfahren mit eingebetteten Fehlerschätzern für die elektromagnetische In-  
duktion“ verfasst.

Thomas Wick thematisiert in seinem Artikel das Gebiet der Multiphysik. Hier werden phy-  
sikalische, biologische, chemische oder klassische ingenieurwissenschaftliche Prozesse  
zur Modellierung praxisrelevanter Anwendungen herangezogen. Sowohl die Nichtlineari-  
täten der betrachteten Prozesse als auch die Kopplung verschiedener Phänomene und  
deren numerische Umsetzung ist eine Herausforderung in multiphysikalischen Simulati-  
onen. Die Vorteile monolithischer und expliziter Kopplungen im Rahmen eines Fixpunkt-  
verfahrens sowie Komplexität der Verbindung der Effekte über „Interfaces“, welche bei-  
spielsweise bei Fluid-Struktur-Interaktion maßgebend sind, werden dabei erörtert. Bei-  
spielhaft diskutiert Thomas Wick drei verschiedene Multiphysiksysteme auf Grundlage  
von Biot-Gleichungen, Fluid-Struktur-Interaktion sowie die Modellierung von Rissaus-  
breitung mit Hilfe der Phasenfeld-Methode. Um den enormen Rechenaufwand der Mo-  
dellierung von Multiphysiksystemen handhabbar zu machen verweist der Autor auf ad-  
aptive Methoden, welche die Simulation unter Berücksichtigung lokaler Fehlerindika-  
toren steuern können. Trotz intensiver Forschung und großer Fortschritte in Teilgebieten  
wie der parallelen Hochleistungsrechner fehlen in diesem Themengebiet oftmals noch  
Gesamtkonzepte für ressourceneffiziente prädiktive Simulationen.

Der zweite Artikel beleuchtet Runge-Kutta Zeitintegrationsverfahren mit eingebette-  
ten Fehlerschätzern für die elektromagnetische Induktion. Er behandelt die Erzeugung  
gekoppelter elektromagnetischer Wellen zur Beeinflussung physikalischer Zuständen.  
Die Kopplung der magnetischen und elektrischen Felder wird durch die Maxwell-Glei-  
chungen, ein System von vier partiellen Differentialgleichungen in Raum und Zeit, be-  
schrieben. Hierbei muss die zeitliche Domäne mit Zeitintegrationsverfahren gelöst wer-  
den. Im Allgemeinen gehen diese Simulationen mit hohen Anforderungen an die Re-  
chengenauigkeit einher. Die Autoren stellen numerische Zeitintegrationsverfahren aus  
der Familie der Runge-Kutta-Verfahren und deren Eigenschaften in Kontext zeitverän-  
derlicher elektrischer und magnetischer Felder vor. Ferner wird ein eingebetteter Fehler-  
schätzer diskutiert, der für eine zuverlässige Prognose und eine mögliche adaptive Zeit-  
schrittweitenregelung unabdingbar ist.

In dieser Ausgabe stellen sich Dr.-Ing. Kathrin Flaßkamp, tätig an der Universität Bre-  
men, und Jun. Prof. Dr.-Ing. Marc-André Keip, der derzeit die Professur der Materialthe-  
orie des Instituts für Mechanik an der Universität Stuttgart vertritt, vor.

Herzlich gratulieren wir dem Preisträger des diesjährigen Richard-von-Mises-Preises.  
Die Laudatio auf Herrn Prof. Dr. Marc Avila, verfasst von Herrn Andre Thess, ist in die-  
ser Ausgabe nachzulesen.

Für weitere Anregungen zur Gestaltung des GAMM-Rundbriefs und zur Einsendung  
von Beiträgen und Steckbriefen schicken Sie bitte eine E-Mail an [klawonn@math.uni-koeln.de](mailto:klawonn@math.uni-koeln.de) (Mathematik) oder an [j.schroeder@uni-due.de](mailto:j.schroeder@uni-due.de) (Mechanik).

Wir wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen.

Essen und Köln im August 2018,

Jörg Schröder und Axel Klawonn

# ZIELORIENTIERTE NUMERIK FÜR MULTIPHYSIKSIMULATIONEN

VON THOMAS WICK

## Multiphysik

Multiphysik bezeichnet ein interdisziplinäres Forschungsgebiet, in dem verschiedene physikalische Phänomene miteinander gekoppelt werden. Oft basieren diese Beschreibungen auf kontinuumsmechanischen Modellen, welche auf sogenannte Systeme von Differentialgleichungen (DGL) führen.

Die Interdisziplinarität erfordert ein Grundverständnis von Theorie, Numerik/Wissenschaftlichem Rechnen und Praxis. Oftmals erfolgt die Spezialisierung auf eines der drei Gebiete, welches nichtsdestotrotz schnell sehr herausfordernd werden kann. Im Folgenden konzentrieren wir uns auf Aspekte des Wissenschaftlichen Rechnens in Multiphysiksimulationen.

Die zugrundeliegenden Differentialgleichungen sind meistens von partieller Natur (PDGL), hängen also von mindestens zwei unabhängigen Variablen ab. Diese PDGL sind im Allgemeinen instationär, nichtlinear, gekoppelt und möglichen Ungleichungsbedingungen unterworfen. Theoretische Ergebnisse sind - wenn überhaupt - lediglich ansatzweise vorhanden.

Multiphysik beginnt bei der Modellierung und näherungsweise Beschreibung eines praxisrelevanten Prozesses. Oftmals sind dies physikalische, biologische, chemische oder klassische ingenieurwissenschaftliche Anwendungen. Es sei im Folgenden angenommen, dass ein Modell gegeben ist. Die wichtigsten Charakterisierungen betreffen:

- Instationaritäten
- Erhaltungseigenschaften
- Nichtlinearitäten
- Vorliegen möglicher Ungleichungsbedingungen
- Kopplungsmechanismen
- Mehrskaligkeiten

Die ersten beiden Punkte sind Bestandteil klassischer Vorlesungen in der Angewandten Mathematik und den Ingenieurwissenschaften. Der dritte und vierte Aspekt stellen bereits anspruchsvollere Spezialisierungen dar, die aber noch nicht notwendigerweise auf PDGL-Systeme oder Multiphysikgleichungen führen. Erst die Kopplung von Systemen ist eine Grundeigenschaft von PDGL der Multiphysik. Hier beeinflussen Lösungsvariablen der jeweils einen PDGL das Lösungsverhalten der verbleibenden PDGL. Schließlich haben verschiedene physikalische Phänomene unterschiedliche charakteristische Größen- und Zeitskalen. Die vollständige sinnvolle numerische Behandlung

solcher Skalenunterschiede wird in absehbarer Zeit nicht möglich sein, wengleich Multiskalen-Methoden ein sehr aktives Forschungsfeld darstellen. Auf diesen letzten Punkt wird im weiteren Verlauf des Artikels nicht weiter eingegangen.

## Kopplungsbedingungen

Ein entscheidender Aspekt in der Multiphysik betrifft die Analyse, das numerische Design und die Implementierung der Kopplungsbedingungen. Grundsätzlich kann zwischen zwei Klassen unterschieden werden: Volumenkopplungen und Interfacekopplungen. Bei Volumenkopplungen wird über Koeffizienten oder Rechte-Seiten-Terme gekoppelt. Die verschiedenen Gleichungen sind aber im selben Gebiet definiert. Im Gegensatz dazu sind bei Interfacekopplungen die Gleichungen in verschiedenen Gebieten definiert und koppeln an dem inneren Rand, dem sogenannten Interface. Es gibt kein Patentrezept zur allgemeinen Lösung. Im Regelfall sind Interfacekopplungen jedoch viel schwieriger zu handhaben als Volumenkopplungen. Die Realisierung von Interfacekopplungen wird weiter unten etwas ausführlicher diskutiert.

Die Art der Kopplung kann zu zusätzlichen Nichtlinearitäten im gegebenen PDGL-System führen. Sie gibt aber auch Ansätze zur numerischen Lösungsstrategie. Verschiedene Kombinationen können auftreten:

- Die zugrundeliegenden PDGL sind linear und die Kopplung verursacht keine zusätzlichen Nichtlinearitäten. Beispiel: Biot-Gleichungen zur Simulation von Strömungen in porösen Medien
- Die zugrundeliegenden PDGL sind bereits in sich nichtlinear. Beispiel: Fluid-Struktur-Interaktion, sprich Kopplung der inkompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen mit geometrisch nichtlinearer Elastizität
- Die zugrundeliegenden PDGL sind linear und die Kopplung verursacht Nichtlinearitäten. Beispiel: Phasenfeldmodelle zur Simulation von Rissen

## Realisierung der Kopplungsbedingungen

Es gibt verschiedene Wege gekoppelte Gleichungen zu vereinfachen bzw. zu linearisieren. Eine der gängigsten Methoden ist die explizite Handhabung bereits berech-

neter Lösungen in den verbleibenden PDGL, was auf ein Fixpunktverfahren führt. Dies ist in stationären als auch in zeitabhängigen Problemen möglich. Darüber hinaus können in zeitabhängigen Problemen Lösungsvariablen vom vorherigen Zeitschritt bzw. durch Extrapolation mehrerer vorheriger Zeitschrittlösungen genutzt werden. Solche partitionierten Lösungsverfahren bieten zwei wesentliche Vorteile:

- Wiederverwendung bereits erfolgreich getesteter Löser der einzelnen Teilprobleme
- Kopplung der Software mit anderen, möglicherweise kommerziellen, Softwarepaketen – sofern Datenaustausch der Geometrie, Parametern und Lösungsvariablen realisiert werden kann

Nachteile sind mögliche numerische Instabilitäten des partitionierten Prozesses bis hin zur Divergenz des Verfahrens. Daher muss für jedes PDGL-System neu geprüft werden (Stichwort: Numerische Analysis) unter welchen Bedingungen ein iterativer Prozess konvergiert.

Im Gegensatz dazu steht die volle monolithische Behandlung, wo alle Gleichungen simultan betrachtet werden. Dies führt nahezu immer auf ein nichtlineares System, das mit iterativen Lösern à la Fixpunkt oder Newton gelöst wird; für Newton-artige Methoden siehe zum Beispiel [6]. Der Nachteil ist, dass das Design eines monolithischen Systems aufwändig und dessen Implementierung entsprechend anspruchsvoll ist. Konkret müssen ggf. Koordinatensysteme vereint (Stichwort: Fluid-Struktur; siehe unten) und Zeitschrittverfahren für das Gesamtsystem formuliert werden. Letztere sollten möglichst implizit sein, da PDGL und insbesondere Multiphysik durch Mehrskaligkeiten in den Material- und Modell-Parametern meist sehr steife Systeme liefern.

Am gravierendsten ist allerdings die Konstruktion eines geeigneten linearen iterativen Löser des orts-diskretisierten Systems. Die Konditionszahlen sind groß, sodass iterative Löser vorkonditioniert werden müssen. Die Konstruktion solcher Vorkonditionierer ist eine zeitaufwändige Aufgabe für Multiphysikprobleme. Auf der anderen Seite gibt es eine Reihe von Vorteilen von monolithischer Modellierung:

- Numerische Modellierung des kontinuierlichen Problems ohne Iterationsfehler und damit größtmögliche Genauigkeit der Kopplungsbedingungen
- Numerische Stabilität und Möglichkeit der Verwendung voll impliziter Zeitschrittverfahren
- Robuste und effiziente numerische Lösung
- Monolithische Formulierungen erlauben die Konstruktion konsistenter Verfahren für a posteriori Fehlerschätzung und numerischer Optimierung

## Interface-Bedingungen

Wenn Interface-Bedingungen (anstatt Volumenkopplung) vorliegen, wie beispielsweise bei Fluid Struktur-Interaktion, dann lautet eine entscheidende Frage, wie diese realisiert werden. Hierzu gibt es zwei grundlegende Ansätze:

- Interface-Tracking
- Interface-Capturing

In Methoden, die das Gebiet in Elemente oder Zellen zerlegen (Finite Volumen, Finite Elemente oder Isogeometrische Analysis), bedeutet Interface-Tracking, dass das Interface mit dem Rand eines lokalen Elements 'exakt' aufgelöst wird (Stichwort: fitted methods). Bei sich bewegendem Interface muss also das Gitter entsprechend mitgeführt werden (siehe Abbildung 1 rechts), sodass sich die einzelnen Elemente stark deformieren können, bis hin zur völligen Degenerierung. Solche Effekte können durch kostenintensive Neuvergitterungen abgefangen werden.

Beim Interface-Capturing (Stichwort: unfitted methods) bleiben das Gebiet und die einzelnen Elemente in der Regel fest (siehe Abbildung 1 links) und das Interface wandert frei durch das Gebiet. Hier sind keine geometrischen Irregularitäten das Hauptproblem, sondern das sinnvolle 'Einfangen' und Auflösen des Interfaces. Hierzu gibt es wiederum zwei Ansätze:

- Niederdimensionale Auflösungen
- Diffusive Ansätze

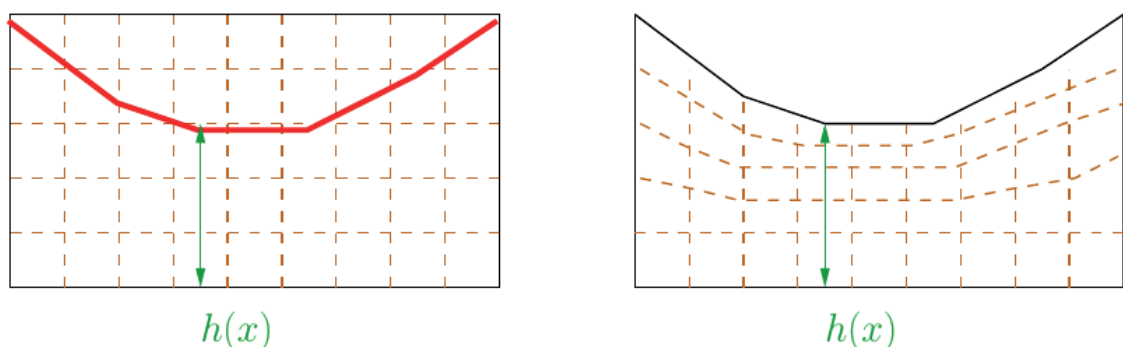


Abb. 1: Links: Gebiet ist fest und das Interface muss via Interface-Capturing 'eingefangen' werden. Rechts: Illustration der Interface-Tracking-Methode, wo das Interface 'exakt' mittels der Element-Ränder approximiert wird.

Zu den niederdimensionalen Auflösungen gehören extended/generalized finite elements, cut-cell methods, finite cell methods sowie locally modified finite elements. Zu den diffusiven Methoden zählen die Level-Set-Methode und der Phasenfeldansatz. Letzterer wird unten im Rahmen von Rissbildungsmodellierungen genauer betrachtet. Die Interface-Capturing-Ansätze erfordern eine sehr sorgfältige Ausgestaltung von Orts- und Zeitdiskretisierungen, um optimale Konvergenzordnungen zu erhalten.

## Prototypische Beispiele

Betrachten wir nun drei prototypische Beispiele von Multiphysiksystemen.

### Biot-Gleichungen

Die Biot-Gleichungen (siehe beispielsweise [17]) stellen Grundgleichungen für Strömungen in porösen Medien dar. Die mathematische Herleitung basiert auf der Homogenisierung von Fluid-Struktur-Interaktion auf der Mikroskala [13]. Es werden eine vektorwertige Verschiebung  $u$  des porösen Festkörpers sowie ein skalarwertiger Druck  $p$  zur Beschreibung der Strömung (Stichwort: Darcy-Gesetz) zwischen den elastischen Poren gesucht.

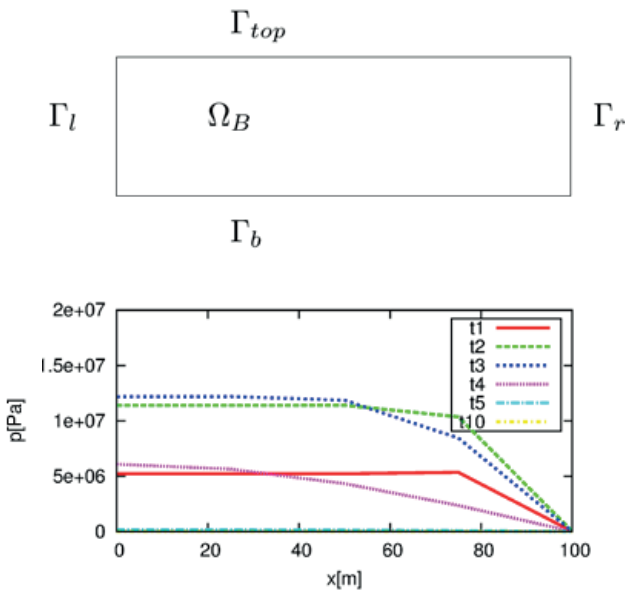


Abb. 2: Biot-Gleichungen in  $\Omega_B$  angewendet auf den Mandel-Benchmark. Auf dem oberen Rand  $\Gamma_{top}$  wird mit einer Flächenkraft gedrückt. Der linke Rand  $\Gamma_l$  ist in  $x$ -Richtung fixiert und frei in  $y$ -Richtung, vice versa für  $\Gamma_b$ . Der rechte Rand  $\Gamma_r$  ist frei (sprich implizit liegen hier homogene Neumann-Bedingungen vor). Der Druck wird auf  $\Gamma_r$  auf Null gesetzt und ist sonst durch homogene Neumann-Randwerte gegeben. Die Situation ist mit einem wassergefüllten Schwamm vergleichbar: Wird dieser zusammengedrückt, dann steigt der Druck zunächst an. Danach fällt der Druck ab, da das Wasser aus dem Schwamm herausgepresst wird, bis kein Wasser mehr vorhanden ist. Dies wird in der unteren Abbildung verdeutlicht, wo der Wasserdruck an sechs verschiedenen Zeitpunkten  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_{10}$  am unteren Rand  $\Gamma_b$  gemessen wird. Der Anstieg-Abstieg des Druckes wird Mandel-Cryer-Effekt genannt.

Beide Gleichungen im allgemein anerkannten Biot-Grundmodell sind linear. Die Gleichung für  $u$  ist ein elliptisches System linearisierter Elastizität. Die Druckgleichung ist im allgemeinen parabolisch. Die Gleichungen werden über Volumenterme gekoppelt. Alle Gleichungen sind im selben Gebiet definiert. Die Verschiebungen werden als infinitesimal klein angenommen, sodass Lagrange- und Eulersche Koordinaten identifiziert werden können (im Gegensatz zur Fluid-Struktur-Interaktion). Die Kopplungen führen zu keinen Nichtlinearitäten. Das heißt, das voll gekoppelte als auch das entkoppelte System ist jeweils linear.

### Fluid-Struktur-Interaktion

Hier werden die inkompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen [16] mit geometrisch nichtlinearer Elastizität gekoppelt [5]. Für jüngste Ergebnisse siehe beispielsweise [8,15].

Beide Grundgleichungen zur Bestimmung eines Verschiebungsfelds  $u$ , der Geschwindigkeiten  $v$  und des Druckes  $p$  sind nichtlinear. Die Teilsysteme bestehen aus einem parabolisch-hyperbolischen System (abhängig von der sogenannten Reynoldszahl) und einem hyperbolischen Elastizitätssystem (Stichwort: Wellengleichung). Insbesondere die Zeitschrittverfahren sollten so konstruiert sein, dass Energieerhaltung auf dem numerischen Level gewährleistet ist. Hier hat sich das sogenannte Fractional-Step-Theta-Schema [4] als sehr geeignet erwiesen. Davon abgesehen ist die Kopplungsbedingung am Interface gegeben und muss sorgfältig realisiert werden. Meistens werden Interface-Tracking-Ansätze verwendet wie beispielsweise die sogenannte Arbitrary Lagrangian-Eulerian-Technik.

In einigen Anwendungen wie zum Beispiel die Selbstoszillation einer elastischen Struktur in einem Strömungskanal mit resultierender von Kármánscher Wirbelstraße (in Fluid-Struktur: Hron/Turek-Benchmark) ist der Informationsaustausch am Interface entscheidend und bei diffusiven Interface-Capturing-Methoden gehen zu viele Kopplungs-Informationen aufgrund der Verschmierung des Interfaces verloren.

Außerdem werden große Deformationen erlaubt, sodass die natürlichen Koordinatensysteme, Eulersche Koordinaten für die Navier-Stokes-Gleichungen und Lagrangesche Koordinaten zur Beschreibung des elastischen Festkörpers berücksichtigt werden müssen. Das heißt, es muss ein gemeinsames Koordinatensystem oder geeignete Formulierungen der Kopplungsbedingungen formuliert werden. Dies hat seit den 70er Jahren auf eine ganze Reihe von verschiedenen Formulierungen geführt. Die bekanntesten sind: arbitrary Lagrangian-Eulerian, immersed boundary method, fictitious domain method und der fully Eulerian-Ansatz.

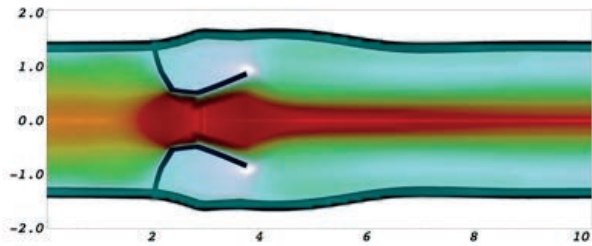


Abb. 3: Fluid-Struktur-Interaktion: Eine Navier-Stokes-Strömung interagiert mit elastischen Klappen und Rändern.

### Phasenfeld-Rissausbreitung mit zeitlicher Irreversibilität

In unserem letzten Beispiel betrachten wir ein sehr aktuelles PDGL-System: die variationelle Phasenfeld-Rissausbreitung [3], welche in 1998 durch Francfort und Marigo begründet wurde. Phasenfeld-Risse waren auch auf der diesjährigen GAMM-Jahrestagung im März in München

ein viel diskutiertes Thema und sind Gegenstand von Untersuchungen in einigen Teilprojekten des aktuellen Schwerpunktprogramms 1748 der DFG <https://www.uni-due.de/spp1748/>. Darüber hinaus wird die momentane Bedeutung der Methode durch den GAMM-Fachauschuss "Phasenfeldmodellierung" untermauert.

Das Ziel der Phasenfeld-Riss-Methode ist die Berechnung eines Verschiebungsfelds  $u$ , wobei die Rissausbreitung durch die Phasenfeldvariable  $\varphi$  beschrieben wird. Letztere unterliegt einer zeitlichen Ungleichungsbedingung, welche aussagt, dass ein bereits bestehender Riss weiter wächst oder zumindest bestehen bleibt (siehe Abbildung 4). Wir haben es im stringenten Sinne nicht mit einem Multiphysikproblem zu tun, da zwar zwei (Un-)Gleichungen herangezogen werden, allerdings die zweite Ungleichung lediglich zur Beschreibung des Risses dient. Im Prinzip ist ein Riss ein niederdimensionales Objekt in einem gegebenen Gebiet.

Jedoch sind die mathematische Analyse als auch die numerische Implementierung herausfordernd, sodass in

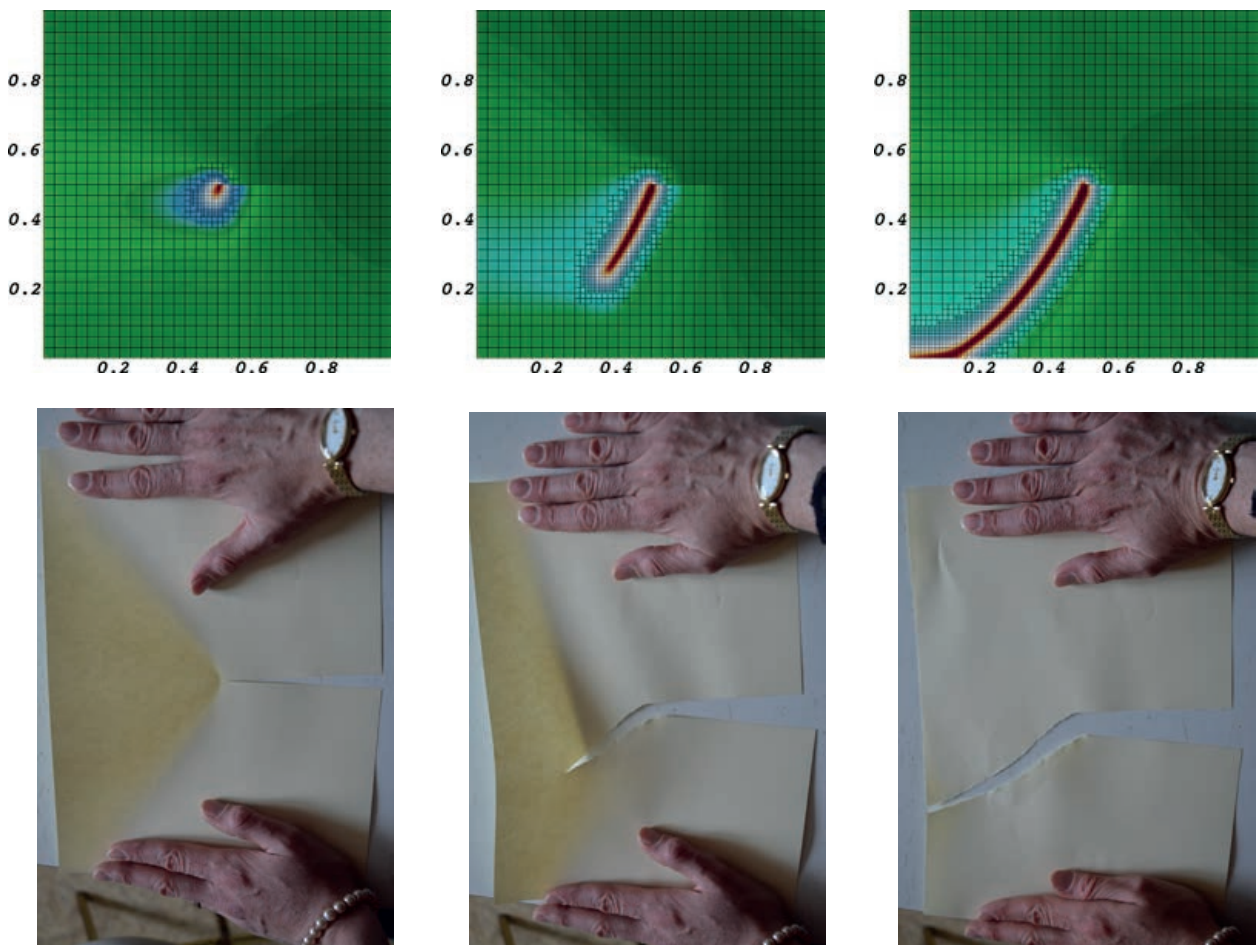


Abb. 4: Phasenfeld-Rissbildung: Numerische Simulation mit der Finite-Elemente-Methode und Experiment mit einem Blatt Papier. Die Regularisierungsbreite  $\epsilon$  ist in blau-zu-weiß dargestellt. Um kleine  $\epsilon$  zu erlauben, ist das Gitter des Rissbereichs lokal verfeinert.

Anlehnung an mathematische Methoden der Bildverarbeitung ein elliptisches Funktional (Stichwort: Ambrosio-Tortorelli) genutzt wird. Dieses Funktional konvergiert in einem gewissen Sinne (Stichwort: Gamma-Konvergenz) gegen den niederdimensionalen Riss. In Anlehnung an unsere vorhergehenden Definitionen approximieren wir also ein scharfes Interface (den Riss als niederdimensionales Objekt) durch eine höherdimensionale diffusive Gleichung. Das heißt wir arbeiten mit einem Interface-Capturing-Ansatz. Die Breite der diffusiven Zone wird durch einen Modellparameter  $\epsilon$  beschrieben (siehe Abbildung 4 oben) und aus mathematischer Sicht sind wir an möglichst kleinen  $\epsilon$  interessiert, um den Riss möglichst akkurat aufzulösen.

In ingenieurwissenschaftlichen Arbeiten wird gleichwohl auch diskutiert, ob  $\epsilon$  nicht (doch) auch als Materialparameter interpretiert werden kann. Das macht insofern Sinn, als ein Riss nicht notwendigerweise scharfe Kanten aufweisen muss, sondern Materialschwächen (vergleichbar mit Ausfransungen) in der Umgebung zutage treten. Diese Materialschwächen werden durch den  $\epsilon$ -Bereich modelliert.

Die Phasenfeld-Riss-Methode ist im Eulerschen Sinne zu verstehen, wo das Gebiet fest ist und der Riss frei über Elemente (z.B. bei Finiten Elementen) variieren kann. Allerdings ist für die Auflösung des Risses mindestens eine Gitterweite, id est  $\epsilon > h$  notwendig (siehe Abbildung 1 links weshalb dies bereits aus geometrischer Sicht eine notwendige Bedingung ist), was für kleine  $\epsilon$  nur durch lokale Gitter-Adaptivität in sinnvoller Weise zu erreichen ist (Abbildung 4 oben).

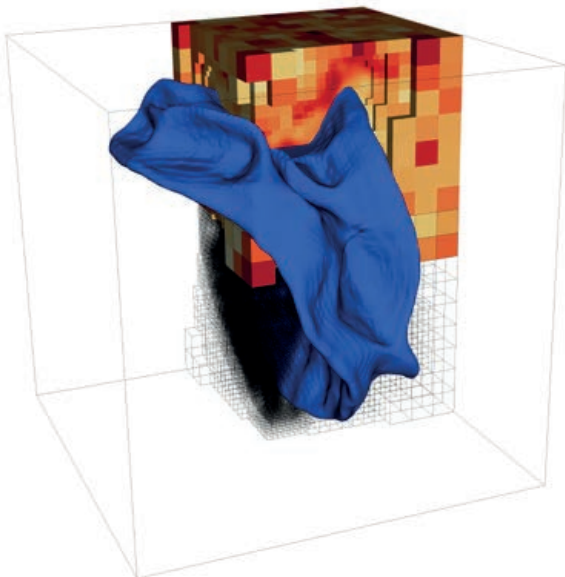


Abb. 5: Phasenfeld-Rissbildung: Snapshot einer 3D-Simulation zweier Risse unter Ausnutzung von Gitteradaptivität und parallelem Höchstleistungsrechnen. Die Risse haben sich zu einem Riss zusammengeslossen (joining) und die nun aufgrund eines heterogenen Festkörpers nicht-eben weiterwachsen und sich weiter verzweigen (branching).

Die Gleichungen stellen ein quasi-lineares PDGL-System dar, wobei eine Volumenkopplung vorliegt. Wenn das PDGL-System entkoppelt wird sind die Grundgleichungen linear. Dennoch ist das gesamte System aufgrund der Ungleichungsbedingung weiterhin nichtlinear, da der zugrundeliegende Funktionenraum der Phasenfeldvariablen lediglich als Menge charakterisiert ist, aber keinen linearen Vektorraum darstellt.

Zur praktischen Realisierung der Ungleichungsbedingung wird auf Methoden der numerischen Optimierung, z.B. in Form von Bestrafungstermen (Stichworte: Penalization oder Augmented Lagrangian) oder aktive Mengenstrategien zurückgegriffen [14].

Des Weiteren können die Gleichungen zur Berechnung der Verschiebungen und der Phasenfeldvariablen als Minimierungsproblem aufgefasst werden. Das resultierende Energiefunktional ist jedoch nicht-konvex, was wiederum erhebliche Schwierigkeiten des (iterativen) Lösungsprozesses mit sich bringt. Konkret werden in zahlreichen Arbeiten viele Iterationen in Form eines entkoppelten Schemas oder einer Newtonmethode beobachtet; siehe z.B. [9,18].

Weitere Herausforderungen sind die akkurate Berechnung von Zielfunktionalen, die mit dem Riss selbst zusammenhängen, wie beispielsweise die physikalische Rissdicke (nicht zu verwechseln mit der Dicke  $\epsilon$  der Phasenfeldapproximation) sowie das Volumen des Risses. Hier sind sehr feine, hochaufgelöste Gitter notwendig, was mit Gitteradaptivität und parallelem Höchstleistungsrechnen zu bewerkstelligen ist [11]. Solche Implementierungen sind insbesondere für 3D-Anwendungen unabdingbar (Abbildung 5).

## Zielorientierte Methoden und Adaptivität

"Wer das Ziel nicht weiß, kann den Weg nicht haben" <sup>1</sup>. Gut überlegt sei deshalb die Formulierung der Zielstellung einer numerischen Simulation. Oftmals ist nicht das gesamte Simulationsergebnis in Ort und Zeit von Interesse, sondern lediglich gewisse, technische Größen, welche nur in einem Teil des Gebiets (siehe Abbildung 6) bzw. auf Abschnitten der Zeitskala zu evaluieren sind. In der Festkörper- und Strömungsmechanik sind dies klassische Größen wie Auslenkungen und Spannungen sowie die Berechnung von Luftwiderstand (drag) und Auftrieb (lift).

Solche Zielgrößen lassen sich mit Hilfe von Funktionalen  $J:V \rightarrow R$  beschreiben, die von einem Funktionenraum  $V$  in die reellen Zahlen  $R$  abbilden. Darüber hinaus können in der Multiphysik mehrere Zielfunktionale simultan von Interesse sein. Beispielsweise interessiert man sich bei Fluid-Struktur-Simulationen für die simultane Kontrolle von Festkörperauslenkungen und Strömungswiderständen.

<sup>1</sup> Christian Morgenstern (1871 - 1914), deutscher Schriftsteller, Dramaturg, Journalist und Übersetzer.



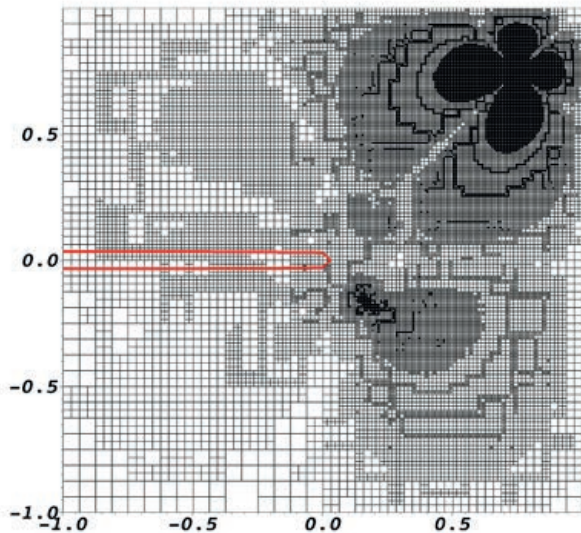


Abb. 6: Lokale Gitterverfeinerung mit Punktauswertung als Zielfunktional in einem Schlitzgebiet, wo der Schlitz (Riss; Isolinie in rot) mit Hilfe einer Phasenfeldvariablen dargestellt wird. Die lokalen Indikatoren wurden mit dual gewichteten Residuen berechnet. Gleichzeitig wird an der Risspitze verfeinert, da hier eine Eckensingularität dargestellt wird, die ebenfalls vom Fehlerschätzer einbezogen wird.

Im Folgenden seien  $u$  die exakte, aber im Allg. unbekannte Lösung und  $\tilde{u}$  eine numerische Approximation. Zielfunktionale und die entsprechende a posteriori Fehleranalyse verfolgen zwei Ziele:

- Berechnung eines Schätzwertes für den unbekanntem Fehler  $J(u) - J(\tilde{u})$  zwischen exaktem  $J(u)$  und numerisch approximiertem Funktionalwert  $J(\tilde{u})$
- Extraktion von lokalen Indikatoren, die zur Steuerung der numerischen Methode in Zeit, Ort und iterativen Lösern genutzt werden können, um den Schätzwert von  $J(\tilde{u})$  bei möglichst geringem Rechenaufwand zu verbessern

Allerdings erfordert Adaptivität oft zusätzliche Rechenschritte (postprocessing) oder ggf. sogar die Lösung von (linearen) Zusatzgleichungen. Dennoch wird der Rechenaufwand letztendlich signifikant reduziert. Idealerweise lassen sich solche adaptiven Methoden in einem parallelen Code-Framework realisieren. Die Kombination führt dann zu den Umständen entsprechend akzeptablen Rechenzeiten. Darüber hinaus gehende Rechenzeiteinsparungen sind mit Modellreduktionsverfahren möglich, die hier aber nicht weiter diskutiert werden.

Eine der erfolgreichsten Methoden ist die a posteriori Fehlerschätzung mit dual-gewichteten Residuen [2]. Wie bereits vorher bei Phasenfeld-Rissausbreitungen beschrieben stellt die numerische Optimierung essentielle Techniken bereit, denn die lokalen Fehlerindikatoren werden

mit lokalen dualen Termen gewichtet, welche durch Lösungen eines adjungierten Problems berechnet werden. Diese erlauben die Berechnung von lokalen Sensitivitäten des Zielfunktionals in Bezug auf die (primalen) Ausgangsgleichungen.

## Verifizierung von Programmiercodes

Neben der mathematischen Modellierung und dem Design von Algorithmen ist deren Implementierung ein wesentlicher Aspekt des Wissenschaftlichen Rechnens. Vorab sei erwähnt, dass die hier vorgestellten Ergebnisse (Abbildungen 2-6) mit Hilfe von deal.II [1] und DOpElib [10] berechnet wurden.

Die Implementierung und Verifizierung der Programmcodes in der Multiphysik entspricht einem Triathlon, in dem verschiedene Eigenschaften des Wissenschaftlers abverlangt werden. Die Ortsdiskretisierung einzelner PDGL ohne Interfaces ist in vielen Bereichen weit fortgeschritten und nehmen wir als bekannt an. Die Kombination verschiedener Gleichungen führt aber zu den vorher diskutierten Herausforderungen, die entsprechende Implementierungen verlangen, wenn (und das sollte das Ziel sein) das Ergebnis ressourceneffizient, robust und mit möglichst optimalen Konvergenzordnungen (falls solche bewiesen werden können) berechnet werden soll.

Für Multiphysik-PDGL sind trotz wesentlicher Fortschritte in den diskutierten Teilbereichen für viele Systeme noch keine numerischen Gesamtkonzepte verfügbar. Beispielsweise ist trotz wesentlicher Fortschritte im parallelen Höchstleistungsrechnen ein vollständig parallelisierter Code in Ort und Zeit für ein Fluid-Struktur-Interaktions-Problem zum heutigen Zeitpunkt noch nicht realisiert worden.

Ähnliches gilt für Zeitadaptivität in Fluid-Struktur: Erst kürzlich wurde in [7] eine dual-gewichtete Methode zur zeitlichen Fehlerschätzung inklusive adaptiver Zeitschrittweitenwahl entwickelt. Zur Validierung des Programmcodes wurden Referenzlösungen erzeugt, die hinreichend kleine Zeitschritte erforderten: Eines der Settings benötigte 120 000 Zeitschritte. Die entsprechende Simulation benötigte 31 Tage (walltime-Messung). Von der ersten Rechnung (gestartet mit entsprechenden Fluid-Struktur-Basicodes), numerischer Modellierung, Implementierung, debugging des Codes, vergingen zwei Jahre Forschung.

Der spannende Aspekt dieser Arbeit war, dass zwei unterschiedliche Codes im Zuge dieser Arbeit entwickelt wurden (es sei hier angemerkt, dass nur einer der Codes die dual-gewichtete Methode enthält und der zweite Code einen herkömmlichen häufig verwendeten heuristischen abschneidefehlerbasierten Schätzer nutzt), sodass eine stetige gegenseitige Kontrolle der Ergebnisse während der Entwicklungen gewährleistet war - und es gab viele Bugs, die hierdurch zutage traten und behoben werden konnten! Die Ergebnisse in [7] sind teilweise faszinierend: Für einige Beispiele konnten nahezu perfekte Effektivitätsindizes

(Verhältnis geschätzter Fehler zu tatsächlichem Fehler) dieses hochkomplexen instationären, nichtlinearen, gekoppelten Fluid-Struktur-Systems erreicht werden.

Diesbezüglich ein letztes Statement: Es gibt gute Gründe, seinen Code zu veröffentlichen (Stichwort: open source) oder nicht; siehe auch [12]. Und die jeweiligen Positionen sind teilweise unvereinbar, wie der Autor in den letzten 10 Jahren feststellen musste. Der dringende Appell an dieser Stelle sei aber, dass man zumindest für sich selbst eine gut-dokumentierte Fassung erstellen sollte, mit der auch nach 2 oder 5 oder 10 Jahren weitergearbeitet werden kann. Falls man sich nach der Promotion zum Verbleib in der Wissenschaft entscheidet, dann wird dieser Moment (einen 'alten' Code wiederzubeleben bzw. vorhandene Ergebnisse nochmals abzugleichen) mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit eintreten.

## Danksagung

Multiphysik ist nicht nur ein klassisches interdisziplinäres Forschungsfeld, sondern auch eine sehr internationale Disziplin. Sie erfordert auf generische Art und Weise vor allem Zweierlei: Teamarbeit und Verständnis anderer Kulturen im wissenschaftlichen wie auch im alltäglichen Sinne. An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken (bis hin zu meinen aktuellen Kolleginnen und Kollegen in Linz und Hannover), die direkten oder indirekten Anteil daran haben, dass ich diesen Artikel verfassen konnte/durfte. Multiphysik ist ein mitreißender Teil der Wissenschaft, wo ich selbst lediglich ein kleines Rad unter vielen darstelle und ich mich auf zukünftige Forschungs- und Lehraktivitäten sehr freue.

### Literatur

- [1] D. Arndt, W. Bangerth, D. Davydov, T. Heister, L. Heltai, M. Kronbichler, M. Maier, J.-P. Pelteret, B. Turcksin, and D. Wells. The deal.II library, version 8.5. *Journal of Numerical Mathematics*, 2017.

- [2] R. Becker and R. Rannacher. An optimal control approach to a posteriori error estimation in finite element methods. *Acta Numerica*, Cambridge University Press, pp. 1--102, 2001.
- [3] B. Bourdin, G. Francfort, and J.-J. Marigo. The variational approach to fracture. *Journal of Elasticity*, 91(1-3), pp. 1--148, 2008.
- [4] M. Bristeau, R. Glowinski, and J. Periaux. Numerical methods for the Navier-Stokes equations. *Computer Physics Reports*, 6, pp. 73--187, 1987.
- [5] P. G. Ciarlet. *Mathematical Elasticity. Volume 1: Three Dimensional Elasticity*. North-Holland, 1984.
- [6] P. Deuffhard. *Newton Methods for Nonlinear Problems*, volume 35 of Springer Series in Computational Mathematics. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [7] L. Failer and T. Wick. Adaptive time-step control for nonlinear fluid-structure interaction. *Journal of Computational Physics*, 366, pp. 448 -- 477, 2018.
- [8] S. Frei, B. Holm, T. Richter, T. Wick, and H. Yang. Fluid-structure interactions: Fluid-Structure Interaction: Modeling, Adaptive Discretisations and Solvers. *Radon Series on Computational and Applied Mathematics Vol. 20*, de Gruyter, 2017.
- [9] T. Gerasimov and L. D. Lorenzis. A line search assisted monolithic approach for phase-field computing of brittle fracture. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 312, pp. 276--303, 2016.
- [10] C. Goll, T. Wick, and W. Wollner. DOpElib: Differential equations and optimization environment; A goal oriented software library for solving PDEs and optimization problems with PDEs. *Archive of Numerical Software*, 5(2), pp. 1-14, 2017.
- [11] T. Heister and T. Wick. Parallel solution, adaptivity, computational convergence, and open-source code of 2d and 3d pressurized phase-field fracture problems. *PAMM*, submitted; preprint arXiv: 1806.09924, 2018.
- [12] R. le Veque. Top ten reasons to not share your code (and why you should anyway). <http://faculty.washington.edu/rjl/pubs/topten/topten.pdf>, Dec 2012.
- [13] A. Mikelić and M. F. Wheeler. On the interface law between a deformable porous medium containing a viscous fluid and an elastic body. *M3AS*, 22(11), 2012.
- [14] J. Nocedal and S. J. Wright. *Numerical optimization*. Springer Ser. Oper. Res. Financial Engrg., 2006.
- [15] T. Richter. *Fluid-structure interactions: models, analysis, and finite elements*. Springer, 2017.
- [16] R. Temam. *Navier-Stokes Equations: Theory and Numerical Analysis*. AMS Chelsea Publishing, Providence, Rhode Island, 2001.
- [17] I. Tolstoy. *Acoustic, elasticity, and thermodynamics of porous media*, Twenty-one papers by M.A. Biot. Acoustical Society of America, New York, 1992.
- [18] T. Wick. Modified Newton methods for solving fully monolithic phase-field quasi-static brittle fracture propagation. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 325, pp. 577-611, 2017.



**Thomas Wick**, Prof. Dr. rer. nat., ist seit Oktober 2017 Professor für Wissenschaftliches Rechnen an der Leibniz Universität Hannover. Promotion im Dezember 2011 an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg bei Herrn Prof. Rolf Rannacher. Anschließend wissenschaftliche Stationen in vier Ländern: 2012 Heidelberg (Wissenschaftlicher Mitarbeiter); 2012 - 2014 Postdoc am Institute for Computational Science and Engineering (ICES) an der UT Austin/Texas, zeitweise mit einem Feodor Lynen-Forschungsstipendium der AvH-Stiftung; 2014 - 2016 Research Scientist am Radon Institute for Computational and Applied Mathematics (RICAM), Linz/Österreich; 2015 W3-Vertretungsprofessur Mathematik (6 Monate, Gruppe Prof. Boris Vexler), TU München; 2016 - 2017 Maître de conférences (Assistant-Professor), École Polytechnique, Palaiseau bei Paris, Frankreich. Sein Hauptforschungsschwerpunkt umfasst Numerische Verfahren und Adaptivität für Multiphysikprobleme. Die bisherigen Arbeiten wurden 2011 mit dem Jan Szmelter Award der Polish Association for Computational Mechanics in Warschau/Polen und 2013 mit einem ICES-Postdoc fellowship der UT Austin ausgezeichnet.



# GAMM Archive for Students (GAMMAS)

An Open-Access Online-Journal run by the GAMM Juniors



LERNEN

FORSCHEN

PUBLIZIEREN

Einreichung studentischer Forschungsergebnisse unter:

[www.gamm-ev.de](http://www.gamm-ev.de) ▶ Publikationen ▶ GAMMAS

# RUNGE-KUTTA ZEITINTEGRATIONSVERFAHREN MIT EINGEBETTETEN FEHLERSCHÄTZERN FÜR DIE ELEKTROMAGNETISCHE INDUKTION

VON TOBIAS GLEIM UND DETLEF KUHL

Elektrisch betriebene Geräte sind in der heutigen Zeit im Alltagsgebrauch nicht mehr wegzudenken. In diesen Geräten, als Hilfsmittel für jegliche Nutzung, treten elektromagnetische Phänomene auf. Die jeweiligen elektrischen und magnetischen Felder sind gekoppelt und diese Eigenschaft des gekoppelten Phänomens wird in vielen Anwendungen als Opportunität ausgenutzt. Um das gekoppelte Phänomen als Welle zu erzeugen, gilt als Grundvoraussetzung die zeitliche Veränderung der Quelle. Im Fall einer eingepprägten statischen Einwirkung, z.B. einer elektrischen Ladung oder eines konstanten elektrischen Stroms, lässt sich entweder das elektrische oder das magnetische Feld aktivieren, während das jeweils andere Feld nicht auftritt. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dem bewussten Erzeugen gekoppelter elektromagnetischer Wellen zur Beeinflussung von physikalischen Zuständen. Eine große Bedeutung der elektromagnetischen Induktion findet sich im Bereich der Materialbearbeitung /-umformung wieder, siehe [30,26]. Beispielsweise wird hierbei die elektromagnetische Induktion zur induktiven Erwärmung als Grundlage der mechanischen Umformung eines Metallkörpers verwendet. Bereits am Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die induktive Erwärmung zur Metallverarbeitung genutzt. Nachdem die ersten Maschinen entwickelt wurden, konnte ein Metall erwärmt und weiterverarbeitet werden. Den Effekt der elektromagnetischen Induktion wurde durch M. Faraday durch experimentelle Untersuchungen entdeckt, siehe [8]. Die Idee dieser Experimente war die Übertragung von Energie durch elektromagnetische Wellen. Die entsprechenden Gleichungen, welche die elektromagnetischen Phänomene als Gesamtproblem beschreiben, wurden von J.C. Maxwell entwickelt. Er kombinierte das Ampèresche Gesetz mit den Gaußschen Gesetzen für elektrische und magnetische Felder sowie dem Gesetz von Faraday, siehe [23,9]. Erst die Zusammenführung aller Gleichungen erlaubte es, die Verbindung von induziertem Wechselstrom und der Übertragung der elektromagnetischen Wellen zu beschreiben.

## Einleitung

Die Maxwell-Gleichungen sind ein System von vier partiellen Differentialgleichungen erster Ordnung in Raum

und Zeit. Einführung in die physikalische Gesamtdarstellung, den Hintergrund und spezifische Problemstellungen sind zahlreich in der Literatur zu finden, siehe [6,17,18]. Neben der bereits aufgezeigten Literatur können auch in weiteren Publikationen Anwendungen der Maxwell Gleichungen für Spezialfälle mit entsprechenden analytischen Lösungen entnommen werden, siehe [17,18,22]. Hierbei werden in den jeweiligen Veröffentlichungen verschiedene Strategien für die Bestimmung der Maxwell-Gleichungen vorgeschlagen.

Neben der klassischen Darstellung der Maxwell-Gleichungen als System von vier partiellen Differentialgleichungen erster Ordnung werden von den folgenden Autoren andere Formulierungen aufgezeigt, siehe [2,6,17]. In diesen Vorgehensweisen, bei der die vier Maxwell-Gleichungen umformuliert werden, entstehen für verschiedene Konstellationen entsprechende Vorteile. Gerade auf dem Gebiet der linearen Theorie des Elektromagnetismus können durch diese Beschreibungen zum Beispiel die elektrischen und magnetischen Felder für statische als auch dynamische Problemstellungen mit nichtleitendem Material gänzlich entkoppelt werden. Im Fall von einer Wechselwirkung und leitendem Material kann eine entsprechende einseitige Kopplung vom elektrischen zum magnetischen Feld aufgezeigt werden. Durch die entsprechenden Umformulierungen werden aus den vier Maxwell-Gleichungen nur noch zwei partielle Differentialgleichungen, welche die Gaußschen Gesetze erster Ordnung im Raum und zweiter Ordnung in der Zeit beinhalten.

Ein weiterer Ansatz im Bereich des Elektromagnetismus ist die Annahme von verschiedenen Potentialen für das elektrische als auch magnetische Feld, siehe [32]. Der Vorteil durch die Einführung entsprechender Potentiale ist die Reduktion der unbekanntenen Variablen. Für ein dreidimensionales Problem wird das elektrische Feld mit seinen drei Komponenten durch ein skalarwertiges Potential und das magnetische Feld durch ein vektorwertiges Potential beschrieben. Die Reduktion der zu lösenden Variablen reduziert sich im dreidimensionalen Raum um zwei Unbekannte und im zweidimensionalen Raum um eine Unbekannte. Die Einführung solcher Potentiale bringt eine unabdingbare Eichung mit sich, welche dadurch im Dif-

ferential-Gleichungssystem erfüllt sein muss, siehe [17]. Gleichauf existieren in der Literatur ebenso zahlreiche Beispiele, in der die elektromagnetischen Felder ohne eine Potentialformulierung verwendet werden, siehe [1,5]. Während dabei die vektorwertigen Felder unverändert bleiben und keine Reduktion der Unbekannten auftritt, kann auf eine Eichung von Potentials verzichtet werden. Da die analytische Lösung elektromagnetischer Aufgabenstellungen nur in Spezialfällen möglich ist, müssen die Maxwell-Gleichungen mit entsprechenden numerischen Methoden gelöst werden. Um dabei die Applikation der Finiten-Elemente-Methode nutzen zu können, müssen die entsprechenden partiellen Differentialgleichungen in einer schwachen Formulierung mit entsprechenden Testfunktionen und der Integration über das Gesamtgebiet formuliert werden. Verschiedenste numerische Methoden wurden für die Bewältigung von elektromagnetischen Prozessen im Ingenieurwesen entwickelt. Eine kleine Liste von Veröffentlichungen ist hier aufgeführt, wobei viele weitere Werke vorhanden sind, siehe [6,16]. Bereits an dieser Stelle wird deutlich, wie viele verschiedene mögliche Formulierungen und unterschiedliche Ansätze gewählt werden können. Während in verschiedenen Veröffentlichungen klassische Lagrange Ansatzfunktionen zum Lösen der Maxwell-Gleichungen genutzt werden, siehe [6,16], werden in der Literatur auch vektorwertige Ansatzfunktionen wie Nédélec Elemente vorgeschlagen, siehe [6,31], oder auch klassische Finite Differenzenverfahren herangezogen, siehe [7,28]. Aber auch alternative numerische Berechnungsverfahren, zum Beispiel die Randelementemethode, werden zum Lösen der Maxwell-Gleichungen genutzt, siehe [1]. Alle vorgestellten numerischen Methoden haben dabei für verschiedene Anwendungsgebiete entsprechende Vorteile. Zum Beispiel sind für Randbedingungen, welche nicht parallel zum Koordinatensystem verlaufen, vektorwertige Funktionen interessant, siehe [25]. Gerade auf dem Gebiet von Eigenwerten von L-Förmigen Resonatoren, von schnellen Lösungsverfahren, höhergenauen Finiten-Element-Methoden, glatten sowie nicht konvexen Randbedingungen oder aber geometrischen Singularitäten wird bereits auf einem sehr hohen Niveau wissenschaftlich gearbeitet, siehe [5,13].

Nach der räumlichen Diskretisierung und der Anwendung der Linienmethode, siehe [29], ist die semidiskrete Bilanzgleichung, abhängig von den oben genannten Formulierungen, eine gewöhnliche Differentialgleichung erster oder zweiter Ordnung in der Zeit. Dies bedeutet, dass die zeitliche Domäne mit Zeitintegrationsverfahren gelöst werden muss. Ein populäres Zeitintegrationsverfahren zum Lösen der semidiskreten Bilanzgleichung für elektromagnetische Probleme ist das Zeitintegrationsverfahren von Crank-Nicholson, siehe [2,5,15]. Aber auch das klassische implizite Euler Verfahren, siehe [15], oder aber Finite Differenzen basierte Ansätze werden häufig verwendet, siehe [7,28]. Neben weiterer Literatur zum Lösen des Zeitbereichs, siehe [6,17], wurden auch zeitharmonische Ansätze angewendet, siehe [5].

Die Zeitintegrationsverfahren haben dabei verschiedene Eigenschaften. Entscheidende Kriterien sind hierbei sowohl die Genauigkeitsordnung, numerische Dissipation als auch der gesamtheitliche Berechnungsaufwand für die jeweils vorliegende Aufgabenstellung. Während zum Beispiel das Crank-Nicholson Verfahren oder verschiedene Finite Differenzen basierte Ansätze zweiter Ordnung genau sind, lösen implizite Euler Verfahren, mit einer Genauigkeitsordnung von Eins, dafür allerdings mit einem deutlich geringeren numerischen Aufwand. In der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus auf der Zeitintegration im Bereich der elektromagnetischen Induktion mit einseitiger Kopplung. Die Maxwell-Gleichungen werden, wie in [2] vorgestellt, in einer Potentialfreien Formulierung verwendet. Diese werden gleichzeitig durch zwei partielle Differentialgleichungen beschrieben, welche die Gaußschen Gesetze mit erster Ordnung im Raum und zweiter Ordnung in der Zeit beinhalten. Im Folgenden wird ein ausgewähltes Beispiel zum Verständnis der Maxwell-Gleichungen verwendet und gleichzeitig werden die numerischen Ergebnisse mit der vorgegebenen analytischen Lösung verglichen. Da die elektromagnetische Induktion eine zentrale Rolle für die bereits oben erwähnten Anwendungsgebiete mit hohen Anforderungen an die Rechengenauigkeit einnimmt und die Induktion nur im Fall eines alternierenden Stroms auftritt, sollen die numerischen Zeitintegrationsverfahren aus der Familie der Runge-Kutta-Verfahren und deren Eigenschaften in Anwendung auf zeitveränderliche elektrische und magnetische Felder untersucht werden. Zudem wird ein eingebetteter Fehlerschätzer aus dieser Familie von Zeitintegrationsverfahren verwendet, der für eine zuverlässige Prognose und eine mögliche adaptive Zeitschrittweitenregelung unabdingbar ist.

## Maxwell-Gleichungen

Elektromagnetische Phänomene werden durch die allgemeinen Maxwell-Gleichungen beschrieben:

$$\nabla \cdot \mathbf{D}(X,t) = \rho_R(X,t) \quad \forall X \in \Omega_E, \quad \forall t \in [t_0, T], \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B}(X,t) = 0 \quad \forall X \in \Omega_B, \quad \forall t \in [t_0, T], \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{B}(X,t) = \mathbf{J}(X,t) + \dot{\mathbf{D}}(X,t) \quad \forall X \in \Omega_{E,B}, \quad \forall t \in [t_0, T], \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{E}(X,t) = -\dot{\mathbf{B}}(X,t) \quad \forall X \in \Omega_{E,B}, \quad \forall t \in [t_0, T], \quad (4)$$

Die vektorwertigen primären Größen sind hierbei die elektrische Feldstärke  $\mathbf{E}$  [V/m], die elektrische Flussdichte  $\mathbf{D}$  [As/m<sup>2</sup>], die magnetische Feldstärke  $\mathbf{H}$  [A/m] und die magnetische Flussdichte  $\mathbf{B}$  [Vs/m<sup>2</sup>] oder [T]. Des Weiteren werden die Quellterme durch die skalarwertige elektrische

Ladung  $\rho_R$  [As/m<sup>3</sup>] und die vektorwertige elektrische Stromdichte  $\mathbf{J}$  [A/m<sup>2</sup>] beschrieben.

Gleichung (1) ist das Gaußsche Gesetz für das elektrische Feld und beschreibt den Zusammenhang zwischen der elektrischen Flussdichte und einer auftretenden elektrischen Ladung, siehe Abbildung 1 links.

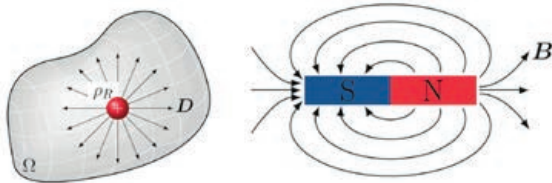


Abb. 1: Gaußsches Gesetz für das elektrische (links) und magnetische (rechts) Feld.

Die elektrische Flussdichte ist hierbei im Volumen bezüglich einer elektrischen Ladung positiv nach außen gerichtet.

Das Gaußsche Gesetz für magnetische Felder wird in Gleichung (2) und Abbildung 1 rechts illustriert und beschreibt den konservativen Zusammenhang der magnetischen Flussdichte. Es berücksichtigt die Tatsache, dass keine magnetischen Monopole existieren und magnetische Feldlinien immer geschlossen sind, sodass das magnetische Feld immer quellenfrei ist.

Das Ampèresche Gesetz wird durch Gleichung (3) beschrieben. Es zeigt, dass ein alternierender elektrischer Strom ein magnetisches Wirbelfeld erzeugt, siehe Abbildung 2 links. Maxwell hat das Ampèresche Gesetz generalisiert und durch die zeitveränderliche elektrische Flussdichte erweitert, welche auch als Verschiebungsstrom bezeichnet wird.

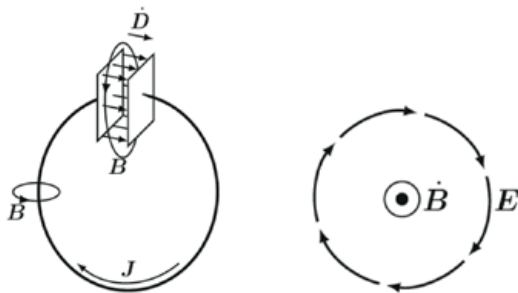


Abb. 2: Ampèresches Gesetz mit der Erweiterung durch Maxwell (links) und dem Faradayschen Gesetz (rechts).

Dies bedeutet, dass sich der totale elektrische Strom additiv aus dem intrinsischen Strom und dem Verschiebungsstrom zusammensetzt. Während der intrinsische Strom durch einen Leiter fließt, entsteht der Verschiebungsstrom durch die zeitveränderliche Komponente der elektrischen Flussdichte.

Die letzte der vier Gleichungen ist das Faradaysche Gesetz, das nur in dem Fall eines zeitveränderlichen Magnetfeldes das Entstehen eines elektrischen Wirbelfeldes beschreibt.

Analog zum Ampèreschen Gesetz wird hier durch eine zeitveränderliche magnetische Flussdichte ein elektrisches Wirbelfeld erzeugt, siehe Abbildung 2 rechts. Das Faradaysche Gesetz wird ebenso Induktionsgesetz genannt, da die magnetische Flussdichte ein elektrisches Feld induziert. Erst dieser Zusammenhang erlaubt es, die Basis eines induktiven Erwärmungsprozesses zu beschreiben und erklärt die Entstehung der Wirbelströme, siehe [10,11], die in ferromagnetischen Materialien eine Wärmequelle erzeugen. Das negative Vorzeichen in der Gleichung wird durch das Lenzsche Gesetz vorgeschrieben, welches besagt, dass das magnetische Feld einem induzierten elektrischen Feld entgegenwirkt und somit im Gleichgewicht ist, siehe [21].

### Konstitutive Gesetze

Einige der physikalischen Größen in den Maxwell-Gleichungen sind nicht unabhängig voneinander und mit anderen Feldgrößen verbunden. Sie werden mit Hilfe der folgenden konstitutiven Gesetze beschrieben:

$$\mathbf{D}(\mathbf{X}, t) = \epsilon \mathbf{E}(\mathbf{X}, t) \quad \forall \mathbf{X} \in \Omega_E, \quad \forall t \in [t_0, T], \quad (5)$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{X}, t) = \mu \mathbf{H}(\mathbf{X}, t) \quad \forall \mathbf{X} \in \Omega_B, \quad \forall t \in [t_0, T], \quad (6)$$

$$\mathbf{J}(\mathbf{X}, t) = \sigma \mathbf{E}(\mathbf{X}, t) + \mathbf{J}_i(\mathbf{X}, t) \quad \forall \mathbf{X} \in \Omega_E, \quad \forall t \in [t_0, T]. \quad (7)$$

Hierbei repräsentiert  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_R$  [As/Vm] die elektrische Permittivität, welche durch die konstante elektrische Permittivität im Vakuum  $\epsilon_0$  und einer materialabhängigen Größe  $\epsilon_R$  beschrieben wird. Sie beschreibt die Durchlässigkeit eines Materials für elektrische Felder. Die magnetische Permeabilität  $\mu = \mu_0 \mu_R$  [Vs/Am] wird durch die konstante magnetische Permeabilität im Vakuum  $\mu_0$  und einer materialabhängigen Größe  $\mu_R$  bestimmt. Sie beschreibt die Durchlässigkeit von Materie für magnetische Felder. Die Größe der magnetischen Permeabilität gibt weiterhin die Magnetisierung eines Materials in einem äußeren Magnetfeld an, sodass bezüglich dieser Zuordnung Materialien in die Kategorien von diamagnetischen, paramagnetischen und ferromagnetischen Stoffen eingeordnet werden können. Gleichung (7) wird Ohmsches Gesetz genannt. Dieses beschreibt den Zusammenhang der elektrischen Stromdichte und der elektrischen Feldstärke durch die elektrische Leitfähigkeit  $\sigma$  [A/Vm]. Die elektrische Leitfähigkeit ist ebenso wie die anderen Größen materialabhängig und beschreibt die Fähigkeit, einen elektrischen Strom zu leiten. Gleichzeitig definiert Gleichung (7), dass ein elektrischer Strom durch die entsprechende elektrische Leitfähigkeit und die elektrische Feldstärke und/oder durch einen intrinsischen Strom erzeugt wird.

### Numerische Verfahren in Raum und Zeit

Um die bisher beschriebenen Maxwell-Gleichungen für beliebige Geometrien zu lösen, ist es unabdingbar, die partiellen Differentialgleichungen mit Hilfe numerischer Me-

thoden zu lösen. Hierzu wird die starke Form der Maxwell-Gleichungen in eine schwache Form überführt, sodass diese mit der Finiten-Elemente-Methode räumlich diskretisiert werden kann. Für die entsprechende Elementformulierung werden klassische Lagrange-Ansatzfunktionen gewählt und mit dem isoparametrischen Konzept die entsprechenden Feldgrößen und die Geometrie beschrieben, siehe [3]. Um hierbei eine konsistente tensorielle Formulierung zu garantieren, werden die klassischen skalarwertigen Ansatzfunktionen in eine einstufige tensorwertige Funktion überführt, siehe [10]. Durch die Anwendung der Finiten-Elemente-Methode wird die semidiskrete Form der Bilanzgleichungen zweiter Ordnung erzielt. Details dieser räumlich diskretisierten gewöhnlichen Differentialgleichung können [10] entnommen werden.

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{D} \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K} \mathbf{u} = \mathbf{r} \tag{8}$$

Für die entsprechenden Studien der elektromagnetischen Induktion werden die höhergenauen Zeitintegrationsverfahren der Runge-Kutta Familie verwendet. Die Familie dieser Zeitintegrationsverfahren basiert auf dem Prinzip einer integralen Auswertung des jeweiligen Zeitschritts, sodass sich diese in der Kategorie der Einschrittverfahren wiederfinden. Während mit auf zentralen Differenzen basierten Verfahren eine maximale Genauigkeitsordnung von zwei erzielt werden kann, kann durch die Vorgehensweise der integralen Auswertung eine beliebige Genauigkeit des Zeitintegrals erreicht werden. Dies wird durch die entsprechenden Approximationen und deren Stützstellen und der darauffolgenden Integration des Zeitintegrals realisiert.

Runge-Kutta Zeitintegrationsverfahren wurden durch Runge [27] und Kutta [20] für Differentialgleichungen erster Ordnung entwickelt. Gleichzeitig entwickelte Heun [14] Zeitintegrationsverfahren, die der Runge-Kutta-Verfahren zuzuordnen sind. Während Runge und Kutta zu Beginn nur explizite Zeitintegrationsverfahren entwickelten, wurde in den 60er Jahren diese von Butcher um implizite Zeitintegrationsverfahren erweitert und mit Hilfe des Butcher-Tableaus zu einer generalisierten Methode gewandelt, siehe [4]. Durch die Ausnutzung des Butcher-Tableaus können Zeitintegrationsverfahren, welche auf

dem Prinzip der Runge-Kutta-Verfahren basieren, durch einen Knotenvektor, eine Prozessmatrix und einen Gewichtungsvektor leicht formuliert werden, wodurch spezielle Runge-Kutta-Verfahren für den Leser einfach zu identifizieren sind. Runge-Kutta-Verfahren sind im Forschungsgebiet der angewandten Mathematik populär, sodass nach der bahnbrechenden Arbeit von Butcher viele weitere spezielle Formen der Runge-Kutta-Verfahren mit entsprechenden Eigenschaften entwickelt wurden. Durch die Einführung einer Nebenbedingung werden Differentialgleichungen zweiter Ordnung in ein System von Gleichungen erster Ordnung überführt, sodass Runge-Kutta-Verfahren auch hier Ihre Wirkung entfalten können.

Da nicht nur ein räumlicher Fehler durch die Diskretisierung und Approximation der Finiten-Elemente-Methode entstehen kann, sondern auch durch die Zeitintegrationsverfahren ein zeitlicher Fehler entsteht, werden für die Familie der Runge-Kutta Zeitintegrationsverfahren Fehlerschätzer entwickelt. Hierzu wird für ausgewählte Runge-Kutta-Verfahren die Lösung am Ende des Zeitschritts durch einen modifizierten Gewichtungsvektor für die äußere Integration bestimmt, der damit als Vergleich und somit zur Abschätzung des lokalen Zeitintegrationsfehlers dient. Diese Form der Runge-Kutta-Verfahren finden sich unter dem Begriff der eingebetteten Runge-Kutta-Verfahren wieder, siehe [12]. Der Vorteil dieses eingebetteten Fehlerschätzers ist, dass er nicht wie bei einem h-Fehlerschätzer, siehe [19], parallele Rechnungen des gleichen Zeitschritts mit einer veränderten Zeitschrittweite benötigt, sondern durch eine einfache Operation mit bescheidenem Rechenaufwand den Fehler schätzen kann. Der Vorteil dieses speziellen Verfahrens geht damit einher, dass dieses nur für die spezielle Familie von Zeitintegrationsverfahren angewendet werden kann, während der h-Fehlerschätzer für jedes beliebige Zeitintegrationsverfahren einsetzbar ist.

### Analyse einer elektromagnetischen Induktion

Abbildung 3 zeigt eine Ringspule in einer perspektivischen Darstellung, in der r-z - Ebene und deren Abmessungen mit Randbedingungen. Die Ringspule dient zur Einbringung elektromagnetischer Wellen in ein Werkstück, welches



Abb. 3: Perspektive einer Ringspule (links), Ringspule in der r-z - Ebene (Mitte) und Abmessungen mit homogenen Dirichlet-Randbedingungen (rechts).

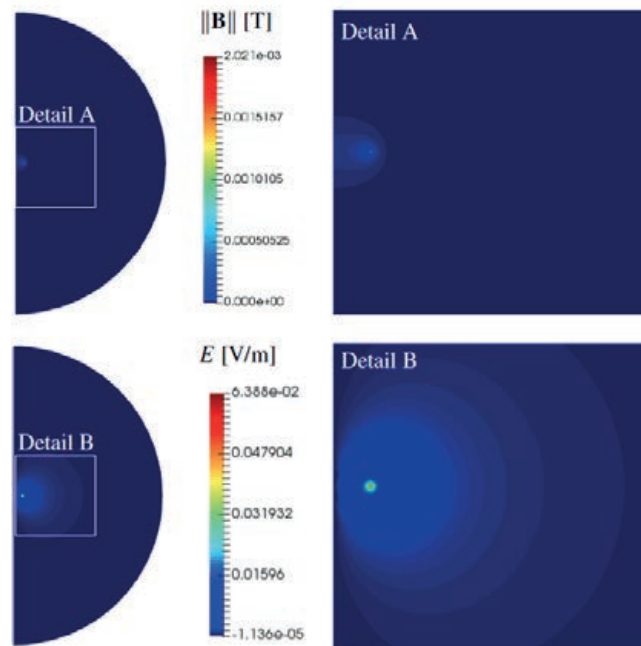


Abb. 4: Magnetisches (oben) und elektrisches Feld (unten) für das gesamte Gebiet links und im Detail rechts für die jeweilige maximale Amplitude.

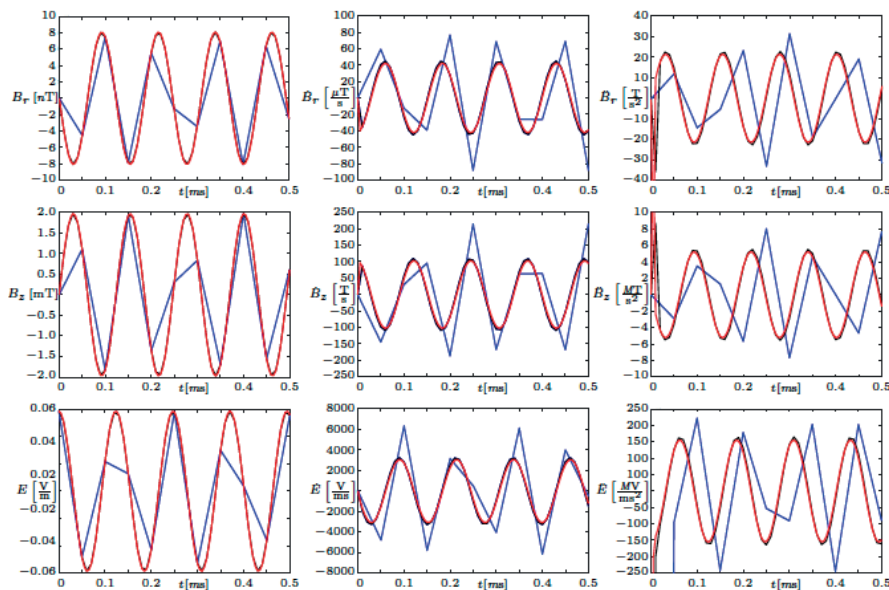


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf des magnetischen und elektrischen Feldes und deren ersten und zweiten zeitlichen Ableitung für die Lösung auf der Spulenoberfläche für das zweistufige diagonal implizite Runge-Kutta-Verfahren, siehe [24], für verschiedene Zeitschrittweiten:  $\Delta t = 50 \mu s$ ,  $\Delta t = 10 \mu s$  und  $\Delta t = 5 \mu s$ .

im inneren angeordnet wird. Durch die Reihenanzahl mehrerer Ringspulen wird eine klassische Induktionsspule erzeugt, welche in vielen Anwendungsbereichen benötigt wird. Dies ist zum Beispiel für die thermische Induktion, bei der ein Werkstück durch Aufprägen eines Stroms erwärmt wird oder aber für mechanische Bewegungen, wie Wind oder Tide, welche das magnetische Feld verändern und somit kinetische und potentielle Energie in Elektrizität umwandeln, notwendig. In der vorliegenden Studie wird zur Vereinfachung eine Ringspule genutzt, da für diese eine analytische Lösung vorliegt und diese als Referenz für numerische Studien verwendet werden kann, sie-

he [10,22]. Zur Vereinfachung kann die Ringspule durch Ihre Symmetrieeigenschaft mit Hilfe eines axialsymmetrischen Modells gelöst werden, siehe Abbildung 3 rechts. Der eingepreßte Wechselstrom in der Ringspule beträgt  $J_\phi = \sin(2\pi ft)$  A und die Frequenz des Wechselstroms wird mit  $f = 8100$  Hz vorgegeben. Die relative Permittivität beträgt im gesamten Gebiet  $\epsilon_R = 1$  As/Vm, die relative Permeabilität  $\mu_R = 1$  Vs/Am und die elektrische Leitfähigkeit  $\sigma = 1$  Vs/Am.

Das magnetische und elektrische Feld sind in Abbildung 4 im Gesamtgebiet und im Detail dargestellt. Da beide Felder zueinander  $90^\circ$  phasenverschoben sind, wird in der



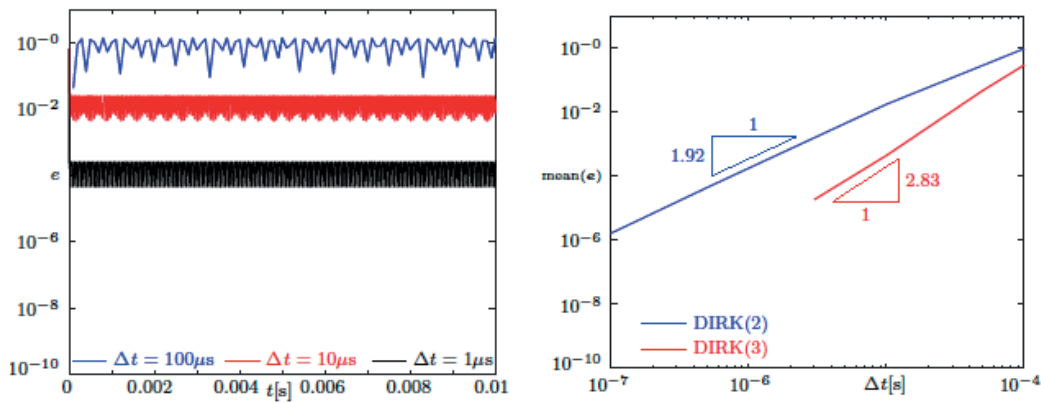


Abb. 6: Verlauf des eingebetteten Fehlers für das DIRK(2) Verfahren (links), siehe [24], und das daraus resultierende Konvergenzdiagramm für das DIRK(2) und DIRK(3) Verfahren (rechts).

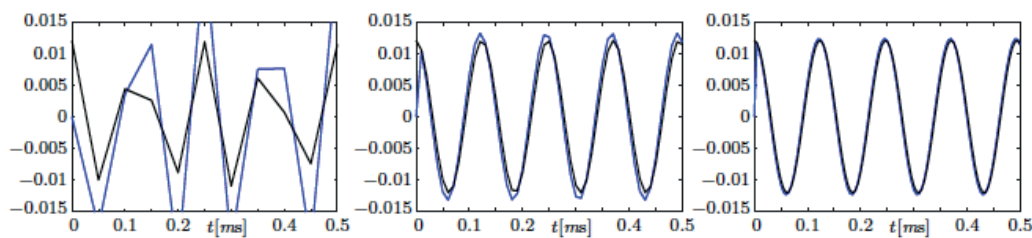


Abb. 7: Zeitlicher Verlauf des integralen elektrischen (blaue Linie) und der integralen ersten zeitlichen Ableitung des magnetischen Feldes (schwarze Linie) nach Gleichung (9) für das DIRK(2) Verfahren mit den Zeitschrittweiten: links:  $\Delta t = 50 \mu s$ , Mitte:  $\Delta t = 10 \mu s$  und rechts  $\Delta t = 5 \mu s$ .

Abbildung 4 die jeweilige maximale Amplitude dargestellt. Die Abbildungen zeigen deutlich den Einflussbereich beider Felder, welcher sich im Wesentlichen nahe der Ringspule befindet. Während sich das elektrische Feld in alle Richtungen ausbreitet, ist der Einflussbereich des magnetischen Feldes auf den inneren Kreis der Ringspule beschränkt.

Die Lösung des magnetischen und elektrischen Feldes und deren ersten und zweiten zeitlichen Ableitungen als zeitlicher Verlauf auf der Spulenoberfläche wird für das zweistufige implizite Runge-Kutta-Verfahren (DIRK(2)) in Abbildung 5 dargestellt. Dies zeigt für alle dargestellten Verläufe sehr deutlich, dass die Qualität der Lösung mit einer abnehmenden Zeitschrittweite verbessert wird. In [10] kann dabei gezeigt werden, dass eine Verbesserung nicht nur durch die Reduktion der Zeitschrittweite, sondern auch durch die Erhöhung der Stufenanzahl erzielt werden kann. Während beim einstufigen impliziten Runge-Kutta-Verfahren (DIRK(1)) noch eine Dispersion in der ersten und zweiten zeitliche Ableitung sichtbar ist, wird diese mit steigender Anzahl an Stufen vermieden.

Der Vorteil der steifgenauen diagonal impliziten Runge-Kutta-Verfahren liegt in der vorhandenen zweiten äußeren Integration, welche damit durch Vergleich zweier Lösungen einen eingebetteten Fehlerschätzer liefern. Dies ist in Abbildung 6 links dargestellt und zeigt für das zweistufige (DIRK(2)) Runge-Kutta-Verfahren die jeweiligen Fehlerkurven für verschiedene Zeitschrittweiten. Auch hier zeigt sich die Eigenschaft, dass eine Reduktion der Zeitschrittweite eine Verbesserung des lokalen Fehlers liefert. Die lokale Konvergenz des DIRK(2) und DIRK(3) Verfah-

rens ist in Abbildung 6 rechts dargestellt. Sie demonstriert eine lokale Konvergenzordnung von  $O(\Delta t^2)$  und  $O(\Delta t^3)$ . Im linearen Fall herrscht eine einseitige Kopplung zwischen dem elektrischen und magnetischen Feld, welche durch das Faradaysche Gesetz beschrieben wird. Abbildung 7 demonstriert hierfür den zeitlichen Verlauf beider integralen Größen

$$\oint_{\partial A} \mathbf{E} ds = - \int_A \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} dA \quad (9)$$

für verschiedene Zeitschrittweiten, die nach dem Faraday-Gesetz identisch sein müssen. Hierbei kann gezeigt werden, dass mit einer Reduktion der Zeitschrittweite das Faradaysche Gesetz von der numerischen Lösung besser dargestellt werden kann. Selbigen Effekt kann, wie auch bei der Fehleranalyse, durch Erhöhung der Stufenanzahl erzielt werden, siehe [10].

#### Literaturverzeichnis

- [1] F. Assous, P. Ciarlet, S. Labrunie, and J. Segre'. Numerical solution to the time-dependent Maxwell equations in axisymmetric singular domains: The singular complement method. *Journal of Computational Physics*, 191, 2003.
- [2] F. Assous, P. Degond, E. Heintze, P.A. Raviart, and J. Segre'. On a finite-element method for solving the three-dimensional Maxwell equations. *Journal of Computational Physics*, 109, 1993.
- [3] K.-J. Bathe. *Finite-Elemente-Methoden*. Springer, Berlin, 2002.

- [4] J.C. Butcher. On Runge-Kutta processes of high order. *Journal of the Australian Mathematical Society*, 4:179–194, 5 1964.
- [5] P. J. Ciarlet. Augmented formulations for solving Maxwell equations. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194, 2005.
- [6] L. Demkowicz. *Computing with hp-ADAPTIVE FINITE ELEMENTS: Volume 1: One and two dimensional elliptic and Maxwell problems*. Chapman & Hall/CRC Applied Mathematics and Nonlinear Science Series, 2007.
- [7] A. Elsherbeni and V. Demir. *The Finite Difference Time Domain for Electromagnetics: With Matlab Simulations*. SciTech Publishing Incorporated, 2008.
- [8] M. Faraday. *Experimental Researches in Electricity*, pages 125–162. Number 122 in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Giving Some Accounts of the Present Undertakings, Studies, and Labours, of the Ingenious, in Many Considerable Parts of the World*. R. Taylor, 1832.
- [9] C.F. Gauss. *Carl Friedrich Gauss Werke*. Number Bd. 5 in *Carl Friedrich Gauss Werke*. Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften, 1877.
- [10] T. Gleim. *Simulation of Manufacturing Sequences of Functionally Graded Structures*. PhD thesis, Schriftenreihe Fachgebiet Baumechanik/Baudynamik, Universität Kassel, 2016.
- [11] T. Gleim, B. Schröder, and D. Kuhl. Nonlinear Thermo-Electromagnetic Analysis of Inductive Heating Processes. *Archive of Applied Mechanics*, 85(8):1055–1073, 2015.
- [12] E. Hairer, S.P. Nørsett, and G. Wanner. *Solving Ordinary Differential Equations I: Nonstiff Problems*. 8. Springer Series in Computational Mathematics. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 1993.
- [13] J.S. Hesthaven, T. Warburton, C. Chauviere, and L. Wilcox. High-Order Discontinuous Galerkin Methods for Computational Electromagnetics and Uncertainty Quantification. In L.R.J. Costa and J. Roos, editors, *Scientific Computing in Electrical Engineering SCEE 2008*, volume 14, pages 403–412. Springer Berlin-Heidelberg, 2010.
- [14] K. Heun. Neue Methode zur approximativen Integration der Differentialgleichungen einer unabhängigen Veränderlichen. *Zeitschrift für Mathematik und Physik*, 45(1):23–38, 1900.
- [15] J. Hoffman. *Adaptive Finite Element Methods for the Unsteady Maxwell's Equations*. Chalmers University of Technology, Göteborg, 2000.
- [16] J.M. Jin. *The Finite Element Method in Electromagnetics*, volume 2. John Wiley & Sons, 2002.
- [17] H. Klingbeil. *Elektromagnetische Feldtheorie: ein Lehr- und Übungsbuch*. Vieweg + Teubner Verlag, 2010.
- [18] R. Kröger and R. Unbehauen. *Elektrodynamik: Einführung für Physiker und Ingenieure*. Vieweg Teubner Verlag, 3rd edition, 2013.
- [19] D. Kuhl. *Modellierung und Simulation von Mehrfeldproblemen der Strukturmechanik*. Habilitation, Institute for Structural Mechanics, Ruhr University Bochum, Bochum, 2005.
- [20] W. Kutta. Beitrag zur näherungsweise Integration totaler Differentialgleichungen. *Zeitschrift für Mathematik und Physik*, 46:435–453, 1901.
- [21] E. Lenz. über die Bestimmung der Richtung der durch elektrodynamische Verteilung erregten galvanischen Ströme. *Annalen der Physik*, 107(31):483–494, 1834.
- [22] M. Marinescu. *Elektrische und magnetische Felder: Eine praxisorientierte Einführung*. Springer-Lehrbuch. Springer Berlin-Heidelberg, 3rd edition, 2009.
- [23] J.C. Maxwell. A dynamical theory of the electromagnetic. *Royal Society Transactions*, 155:459–512, 1865.
- [24] A. Roger. Diagonally Implicit Runge-Kutta Methods for Stiff O.D.E.'s. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 14(6):1006–1021, 1977.
- [25] M.E. Rognes, R.C. Kirby, and A. Logg. Efficient Assembly of H (div) and H (curl) Conforming Finite Elements. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 31(6):4130–4151, 2010.
- [26] M. Rozgic', F. Taebi, and M. Stiemer. Numerical optimisation of process parameters for combined quasistatic and impulse forming. *Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics*, 12(1):625–626, 2012.
- [27] C. Runge. Ueber angewandte Mathematik. *Mathematische Annalen*, 44(2): 437–448, 1894.
- [28] M.N.O. Sadiku. *Numerical Techniques in Electromagnetics with MATLAB*, volume 3. CRC Press, 2011.
- [29] W.E. Schiesser. *The Numerical Method of Lines: Integration of Partial Differential Equations*. Academic Press, 1991.
- [30] K. Steinhoff, U. Weidig, and N. Saba. Investigation of plastic forming under the influence of locally and temporally variable temperature and stress states. In K. Steinhoff, H.J. Maier, and D. Biermann, editors, *Functionally Graded Materials in Industrial Mass Production*, pages 35–52. Verlag Wissenschaftliche Scripten, Auerbach, 2009.
- [31] U. van Rienen. *Numerical Methods in Computational Electrodynamics: Linear Systems in Practical Applications*. Lecture Notes in Computational Science and Engineering. Springer Berlin-Heidelberg, 2012.
- [32] S. Zaglmayr. *High Order Finite Element Methods for Electromagnetic Field Computation*. PhD thesis, Johannes Kepler Universität, 2006.



**Detlef Kuhl**, Prof. Dr.-Ing. habil., studierte von 1985 bis 1992 Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität Stuttgart. Anschließend war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baustatik der Universität Stuttgart und promovierte mit einer Arbeit im Bereich der Zeitintegrationsalgorithmen für dünnwandige Tragwerke. Im Jahr 1996 wechselte er als Jungwissenschaftler zum Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in die Abteilung für Raumfahrtantriebe in Lampoldshausen, wo er noch im selben Jahr Gruppenleiter wurde. Ende 1998 wechselte er als Oberingenieur an das Institut für Baustatik der Ruhr-Universität Bochum und habilitierte sich 2004 zur Numerik für Mehrfeldprobleme. Seit 2007 ist er Professor für Baumechanik/Baudynamik am Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen der Universität Kassel. Seine Forschungsinteressen liegen auf den Gebieten der numerischen Mechanik, Mehrfeldproblemen, Zeitintegratoren und tensegrin Strukturen.



**Tobias Gleim**, Dr.-Ing., absolvierte von 2006 – 2010 sein Diplom- und Masterstudium des Bauingenieurwesens an der Universität Kassel. Im Anschluss daran war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Baumechanik/Baudynamik der Universität Kassel tätig und promovierte 2016 im Bereich der numerischen Simulation der induktiven Erwärmung und Fluid-Struktur-Interaktion für funktional gradierte Werkstoffe. Anschließend arbeitete er als PostDoc in einem DARPA Projekt im ‚Center for Aerospace Structures‘ an der Universität von Colorado in Boulder, USA. Dort forschte er im Bereich der adaptiven multiskalen Topologieoptimierung. Seit 2018 ist er Habilitand im Fachgebiet für Baumechanik und Baudynamik an der Universität Kassel. Seine Forschungsinteressen liegen auf dem Gebiet der numerischen Simulation von Mehrfeldproblemen.

# RUNDBRIEF READERS

## Save 30% on these SIAM titles:

### Core-Chasing Algorithms for the Eigenvalue Problem

Jared L. Aurentz, Thomas Mach, Leonardo Robol, Raf Vandebril, and David S. Watkins  
Fundamentals of Algorithms 13

This book presents a new view of John Francis's implicitly shifted QR algorithm, which has been the method of choice for small to medium sized eigenvalue problems since 1959. The new version chases core transformations (not bulges), allowing the development of fast algorithms for eigenvalue problems with a variety of special structures. This also leads to a fast and backward stable algorithm for computing the roots of a polynomial by solving the companion matrix eigenvalue problem.

2018 • x + 148 pages • Softcover • 978-1-611975-33-8 • List \$64.00 • Rundbrief Readers \$44.80 • FA13

### BIG Jobs Guide: Business, Industry, and Government Careers for Mathematical Scientists, Statisticians, and Operations Researchers

Rachel Levy, Richard Laugesen, Fadil Santosa

Jobs using mathematics, statistics, and operations research are projected to grow by almost 30% over the next decade. *BIG Jobs Guide* helps job seekers at every stage of their careers in these fields explore opportunities in business, industry, and government (BIG). Written in a conversational and practical tone, the book offers readers insight on topics such as: what skills to offer employers; how to write a high-impact resumé; where to find a rewarding internship; and what kinds of jobs are out there. It also provides valuable information for advisers and mentors.

2018 • xii + 141 pages • Softcover • 978-1-611975-28-4 • List \$25.00  
Rundbrief Readers \$17.50 • Students \$15.00 • OT158 / OTSP158 for students

### Linear Algebra and Matrices

Shmuel Friedland and Mohsen Aliabadi

This introductory textbook grew out of several courses in linear algebra given over more than a decade and includes such helpful material as constructive discussions about the motivation of fundamental concepts; many worked-out problems in each chapter; and topics rarely covered in typical linear algebra textbooks. The authors use abstract notions and arguments to give the complete proof of the Jordan canonical form and, more generally, the rational canonical form of square matrices over fields.

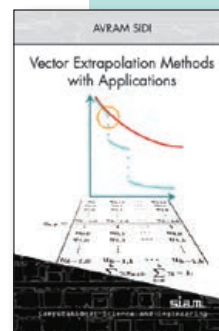
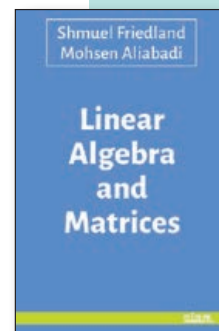
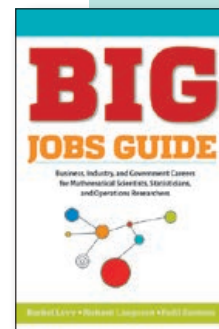
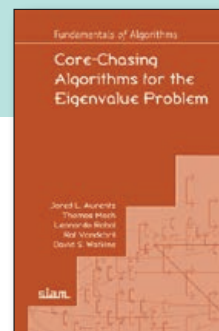
2018 • xvi + 285 pages • Softcover • 978-1-611975-13-0 • List \$69.00 • Rundbrief Readers \$48.30 • OT156

### Vector Extrapolation Methods with Applications

Avram Sidi

This is the first book fully dedicated to the subject of vector extrapolation methods. It is a self-contained, up-to-date, and state-of-the-art reference on the theory and practice of the most useful methods. It covers all aspects of the subject and provides complete proofs in most places.

2017 • xiv + 430 pages • Softcover • 978-1-611974-95-9 • List \$104.00 • Rundbrief Readers \$72.80 • CS17



Be sure to enter code "BKGM18" to get special discount price.

**siam** Society for Industrial and Applied Mathematics

**TO ORDER, SHOP ONLINE AT [bookstore.siam.org](http://bookstore.siam.org).**

Use your credit card (AMEX, Discover, MasterCard, or VISA) when ordering online, by phone at +1-215-382-9800 worldwide or toll free at 800-447-SIAM in USA and Canada, or by fax at +1-215-386-7999. Send check or money order to: SIAM, Dept. BKGM18, 3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688. Members and customers outside North America can order through the Eurospan Group, at [Eurospanbookstore.com/siam](http://Eurospanbookstore.com/siam).

**ORDER ONLINE: [BOOKSTORE.SIAM.ORG](http://BOOKSTORE.SIAM.ORG)**

# GAMM Members:

There are lots of reasons to

**SAVE 30%**

# JOIN SIAM®

More than 14,500 mathematicians, computer scientists, engineers, physicists, and other scientists enjoy the many benefits of belonging to the Society for Industrial and Applied Mathematics. SIAM members are researchers, educators, practitioners, and students from more than 100 countries working in industry, laboratories, government, and academia.

**GAMM members who live outside the United States can become members of SIAM at a special reciprocal rate that is 30% less than the regular member rate!**

“SIAM IS THE PREMIER PROFESSIONAL SOCIETY FOR APPLIED MATHEMATICS. ITS GREATEST STRENGTHS ARE ITS MEMBERS AND THE JOURNALS AND BOOKS IT PUBLISHES.”

– Juan C. Meza, Dean, School of Natural Sciences, University of California Merced, Associate Editor *SIAM Review*



## MEMBERS OF SIAM HAVE ACCESS TO:

- SIAM News and SIAM Review
- Discounts on books, journals, and conferences
- SIAM Activity Groups
- Participation in SIAM elections, leadership opportunities, and the SIAM Fellows program
- Networking opportunities
- Career Resources
- Resources and support for student activities

**JOIN TODAY: [WWW.SIAM.ORG/JOINSIAM](http://WWW.SIAM.ORG/JOINSIAM)**

**siam®**

Society for Industrial and Applied Mathematics

3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688 USA

Phone: +1-215-382-9800 · Fax: +1-215-386-7999 · [membership@siam.org](mailto:membership@siam.org) · [www.siam.org](http://www.siam.org)

Please use  
promotion code  
**MBGA18** when  
you join.

**Dr. Kathrin Flaßkamp** arbeitet im Bereich strukturerhaltender Verfahren in der Optimalsteuerung. Als Stipendiatin der Studienstiftung studierte sie Technomathematik an der Universität Paderborn von 2003 bis 2008 und beendete ihr Studium mit Auszeichnung. Anschließend arbeitete sie im SFB „Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus“ in Paderborn. Im Dezember 2013 promovierte Frau Flaßkamp unter Betreuung von Frau Prof. Dr. Sina Ober-Blöbaum und Herrn Prof. Dr. Michael Dellnitz mit „summa cum laude“. Sie forschte für eineinhalb Jahre im Neuroscience and Robotics Laboratory der Northwestern University, Chicago, bei Herrn Prof. Todd Murphey, PhD. Seit ihrer Rückkehr nach Deutschland, 2016, ist Frau Flaßkamp an der Universität Bremen, Zentrum für Technomathematik, in der Gruppe Optimierung und Optimale Steuerung von Herrn Prof. Dr. Christof Büskens tätig. Dort ist sie außerdem assoziiertes Mitglied der DFG-Graduiertenschule „Parameter Identification Pi<sup>3</sup>“. Frau Flaßkamp war bis 2017 GAMM Junior und ist Mitglied des GAMM-FA „Dynamik und Regelungstheorie“.

In der Technomathematik, der Schnittstelle zwischen Mathematik und Ingenieurwissenschaften, fühle ich mich mit meinen Forschungsinteressen bereits seit meinem Studium richtig aufgehoben. Im Spannungsfeld mindestens zweier verschiedener Fachrichtungen zu arbeiten, macht es möglich, spannenden interdisziplinären Fragestellungen nachzugehen und die gegenseitige Befruchtung von Methodenentwicklung und Anwendung zu nutzen, was ich an meiner Arbeit sehr schätze. Im Fokus meiner Forschung sind numerische Methoden zur Lösung von Optimalsteuerungsproblemen. Ein wirklich klassisch mathematischer Aspekt meiner Arbeit ist das Interesse an speziellen Strukturen in den Systemen, bzw. in den Optimalsteuerungsproblemen und wie diese Strukturen in numerischen Verfahren erhalten

werden können. Ingenieurwissenschaftlicher Denkweise folgend sollen diese Strukturen dann in einem zweiten Schritt gewinnbringend genutzt werden.

Hamilton- und Lagrange-Systeme in der Mechanik sind beispielweise wesentlich durch ihr Energieverhalten bestimmt. Weisen diese Systeme Symmetrien auf, so existieren Invarianzen, d.h. Erhaltungsgrößen der Dynamik, wie z.B. (Dreh-)Impulse. Diese Systemklasse ist weiterhin dadurch charakterisiert, dass ihre Lösung symplektisch, d.h. volumenerhaltend, ist. Diese Strukturen sind nicht auf die Mechanik beschränkt, wie z.B. auch der Modellierungsansatz multiphysikalischer Systeme als Port-Hamilton-Systeme zeigt.

Sind diese Strukturen identifiziert, ist es mein Ziel, sie auch beim Einsatz numerisch approximativer Verfahren zu erhalten. Für die Vorwärtsintegration von Lagrange-Systemen wurden hierzu vor etwa dreißig Jahren variationelle Integratoren entwickelt, die symplektizitäts- und impulserhaltend sind und einen beschränkten Energiefehler besitzen. Variationelle Integratoren können auch zur Transkription von Optimalsteuerungsproblemen in

## STECKBRIEF



nichtlineare, restringierte Optimierungsprobleme verwendet werden, wie S. Ober-Blöbaum in der von ihr entwickelten Methode DMOC (Discrete Mechanics and Optimal Control) demonstriert. Die Strukturerhaltung, z.B. Symmetrien, überträgt sich dann unter bestimmten Voraussetzungen auf die optimal gesteuerten Systeme. Wie ich im Rahmen meiner Dissertation zeigen konnte, lässt sich die variationelle Herleitung des Transkriptionsverfahrens auch auf hybride Systeme, d.h. Systeme mit gemischt diskret-kontinuierlichem Verhalten erweitern [1,5].

Ähnliche Strukturen gibt es auch auf Ebene des Optimalsteuerungsproblems: das Zustands-Adjungiertensystem der notwendigen Bedingungen aus dem Pontryaginschen Maximumsprinzip ist ein Hamilton-System zur Hamiltonfunktion des Optimalsteuerungsproblems.

Dies motivierte mich zu einer genaueren Analyse auch des linear-quadratischen (Riccati) Optimalsteuerungsproblems und seinem Dualen, dem Filterproblem (Kalman Filter). Wir konnten zeigen, dass ein Standard zeit-diskreter Riccati-Regler zwar die symplektische Struktur des Optimalsteuerungsproblems erhält, man das Reglergesetz jedoch modifizieren muss, um dies mit strukturerhaltenden Diskretisierungen für die Systemdynamik von Hamilton-Systemen zu verbinden [6, 8].

Strukturerhaltende Integratoren wurden bereits für vielfältige Anwendungsgebiete erfolgreich eingesetzt, z.B. in der Gruppe von T. Murphey für verschiedenste Optimierung- und Regelungsaufgaben in der Robotik. Bei Echtzeitkritischen Aufgaben oder geringer Sensorbandbreite haben sich variationelle Integratoren gegen Standardverfahren in den Praxistests hinsichtlich Genauigkeit und Rechenaufwand, insbesondere in Bezug auf Integratorschrittweiten, durchgesetzt.

Nun von der Strukturerhaltung zur Strukturausnutzung: Hier betrachte ich das Problem der optimalen Trajektorienplanung. Da die spezifischen Planungsprobleme, die

Umgebungsbedingungen und ggf. die Zielkriterien im Vorfeld nicht bekannt sind, muss Trajektorienplanung komplizierter nichtlinearer Systeme mit einem kombinierten offline-online Ansatz adressiert werden. Speziell arbeite ich mit dem ursprünglich von E. Frazzoli um 2000 vorgestellten Ansatz des Motion Planning mit Motion Primitives. Eine strukturausnutzende Bibliothek, die im Vorfeld angelegt wird, ermöglicht dann echtzeitfähige Trajektorienplanung während des Betriebs. Das Ausnutzen von Äquivalenzklassen verkleinert die Dimension der Bibliothek erheblich. Weitergehend generiert die Symmetriewirkung Trajektorien, die eine besonders einfache, zeitparametrisierte Darstellung haben (sogenannte Trim Primitives oder Relative Äquilibrien) und daher bevorzugte Kandidaten für die Bibliothek sind. Globale Verfahren zur Suche optimaler Sequenzen in dieser Bibliothek lassen sich ideal mit lokalen Optimalsteuerungsverfahren verknüpfen [2]. Im Rahmen meiner Arbeiten im Sonderforschungsbe- reich „Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus“ habe ich gezeigt, dass dieser Ansatz darüberhinaus mit Mehrzieloptimierung kombiniert werden kann, um flexibel während des Betriebs aktuelle Zielpriorisierungen in der Optimierung intelligenter Systeme berücksichtigen zu können, was ein wichtiger Schritt in Richtung autonomer Entscheidungsfindung ist [3]. In der Arbeitsgruppe Opti- mierung und Optimale Steuerung in Bremen wird aktuell an einer Umsetzung dieses Ansatzes für die satellitenba- sierte autonome Schiffsnavigation gearbeitet.

Während die (In-)stabilität linearer Systeme durch ihre Eigenwertspektren vollständig charakterisiert ist, sind analoge Aussagen für nichtlineare Systeme global im Allgemeinen nicht zu treffen. Als organisierende Struk- turen spielen invariante (in)stabile Mannigfaltigkeiten zu Fixpunkten oder periodischen Orbits jedoch eine wichtige Rolle. Im Raumfahrtdesign wurden bereits Missionen so geplant, dass Raumschiffe die (in)stabilen Mannigfaltig-

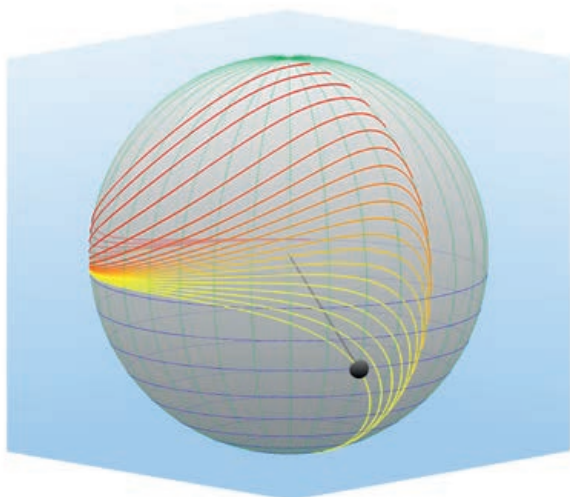


Abb. 1: Strukturen der Dynamik eines sphärischen Pendels: Die Rotati- onssymmetrie erzeugt Trim Primitives (Relative Äquilibrien) als horizo- tale Rotationen in der unteren Halbsphäre (blau). Die stabile Mannig- faltigkeit des oberen Fixpunkts ist eine rein vertikale Bewegung (grün). Energieoptimale Manöver (rot bis gelb) erlauben das Aneinanderrei- hen von Lösungstücken zu strukturausnutzenden optimalen Gesamts- equenzen für die globale Trajektorienplanung.

keiten der Planetendynamik nutzen, um praktisch ohne Steueraufwand weite Strecken zurücklegen zu können. Um diesen Ansatz zu formalisieren, habe ich Trajektorien entlang (in)stabiler Mannigfaltigkeiten als neue Klasse Motion Primitives in die Planungsbibliothek integriert. Diese Trajektorien zu nutzen, ist vorteilhaft für energie- optimale Lösungen, da sie der natürlichen Systemdynamik folgen können [2]. Praktisch umgesetzt haben wir diese Strategie für den Aufschwung eines Doppelpendels auf einem Wagen [4]. Alternativ können Trajektorien entlang (in)stabiler Mannigfaltigkeiten auch als Referenzlösungen für Tracking-Regler dienen. In [7] setzten wir ein neuar- tiges nichtlineares Regelverfahren ein, um verschiedene Robotersysteme durch Tracking der stabilen Mannigfaltig- keit global zu stabilisieren.

In aktuellen Forschungsarbeiten in der Gruppe Optimi- erung und Optimale Steuerung an der Universität Bremen arbeite ich zur Parameteridentifikation dynamischer Systeme. Diese können durch direkte Methoden adressiert wer- den. Bei der Identifikation von Hamilton- und Lagrange- Systemen spielt nun aber wiederum Strukturhaltung in der Optimierung eine große Rolle, sodass auch hier symplektische, z.B. variationelle Transkriptionsverfahren eine vielversprechende Wahl sind. Daher arbeiten wir an der Integration der symplektischen Methoden in schnelle strukturausnutzende Löser für hochdimensionale Optimi- erungsprobleme.

#### Literatur

- [1] K. Flaßkamp, S. Ober-Blöbaum: Variational formulation and optimal control of hybrid Lagrangian systems. In HSCC '11: 14th international conference on hybrid systems: computation and control, pp. 241–250, 2011.
- [2] K. Flaßkamp, S. Ober-Blöbaum, M. Kobilarov: Solving optimal control problems by exploiting inherent dynamical systems structures, Journal of Nonlinear Science, 22(4), 599–629, 2012.
- [3] K. Flaßkamp and S. Ober-Blöbaum. Optimale Steuerungsstrategien für selbstoptimierende mechatronische Systeme mit mehreren Zielkriterien. In 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme, pp. 65–78, 2013.
- [4] K. Flaßkamp, J. Timmermann, S. Ober-Blöbaum, A. Trächtler: Control strategies on stable manifolds for energy-efficient swing-ups of double pendula, International Journal of Control, 87(9), 1886–1905, 2014.
- [5] K. Flaßkamp, S. Hage-Packhäuser, S. Ober-Blöbaum: Symmetry exploiting control of hybrid mechanical systems, Journal of Computational Dynamics, 2(1), 25–50, 2015.
- [6] J. Schultz, K. Flaßkamp, T.D. Murphey: Variational integrators for structure-preserving filtering. Journal of Computational and Nonlinear Dynamics, 12(2), 2016.
- [7] K. Flaßkamp, A. Ansari, T.D. Murphey: Hybrid Control for Tracking of Invariant Manifolds, Nonlinear Analysis: Hybrid Systems, 25, 298–311, 2017.
- [8] K. Flaßkamp, T.D. Murphey: Structure-Preserving Local Optimal Control of Mechanical Systems, Eingereicht, 2018.

#### Kontakt:

Dr. Kathrin Flaßkamp  
 AG Optimierung & Optimale Steuerung  
 Zentrum für Technomathematik  
 Universität Bremen  
 Bibliothekstraße 5  
 28359 Bremen  
 Email: kathrin.flaskamp@uni-bremen.de

**Jun.-Prof. Dr.-Ing. Marc-André Keip** studierte Bauingenieurwesen an der Universität Duisburg-Essen und schloss sein Studium 2004 mit einer Diplomarbeit in der Mechanik ab. Im Anschluss wechselte er für zweieinhalb Jahre in die Industrie, um einer Beschäftigung als Ingenieur bei der Itasca Consultants GmbH nachzugehen. Nach dieser Tätigkeit kehrte er an die Universität Duisburg-Essen zurück und begann dort eine Promotion unter der Leitung von Professor Dr.-Ing. Jörg Schröder am Institut für Mechanik. Die Promotion, welche sich der Mehrskalenmodellierung elektromechanischer Randwertprobleme widmete, schloss er im Jahr 2011 mit Auszeichnung ab. Nach einer knapp zweijährigen Phase als Postdoktorand am Lehrstuhl von Jörg Schröder, in welche auch ein mehrmonatiger Auslandsaufenthalt bei Professor Kaushik Bhattacharya, Ph.D. am California Institute of Technology fiel, nahm er im Oktober 2013 einen Ruf auf eine Juniorprofessur des Exzellenzclusters Simulation Technology an der Universität Stuttgart an. Seit Dezember 2016 vertritt er die Professur Materialtheorie im Ingenieurwesen des Instituts für Mechanik der Universität Stuttgart.

Die Forschungstätigkeit von Herrn Keip ist in der nichtlinearen Kontinuumsmechanik, der Materialtheorie sowie den hierzu assoziierten Simulationsmethoden angesiedelt. Schwerpunkte liegen auf der Modellierung und Simulation mehrskaliger und mehrfeldriger Probleme sowie auf der phasenfeldbasierten Beschreibung mikro-mechanischer Phänomene.

Nach einer Diplomarbeit am Institut für Mechanik von Professor Jörg Schröder zog es Herrn Keip zunächst in die Industrie. Dort war er für zweieinhalb Jahre bei der Firma Itasca Consultants GmbH in Gelsenkirchen beschäftigt und befasste sich inhaltlich mit Problemstellungen der Geo- und Felsmechanik. Als Berechnungswerkzeuge kamen hauseigene Simulationsprogramme zum Einsatz, an deren Entwicklung er im Bereich der Stoffgesetzimplementierung beteiligt war.

Im Anschluss begann Herr Keip eine Promotion an der Universität Duisburg-Essen unter der Leitung von Professor Jörg Schröder. Gegenstand der Promotion war die mehrskalige Modellierung elektromechanischer Kopplungsphänomene in Festkörpern. Die entsprechenden Phänomene sind durch Nichtlinearitäten sowie dissipatives und skalenabhängiges Verhalten gekennzeichnet. Im Kern der Promotion stand die Entwicklung eines gekoppelten, zweiskaligen Finite-Elemente-Modells, welches unter anderem zur computerbasierten Charakterisierung elektromechanischer Komposite eingesetzt werden kann [10].

Im Zuge einer darauf folgenden zweijährigen PostDoc-Phase erweiterte Herr Keip die Betrachtung funktionaler Materialien zunächst auf magnetoelektrische Multiferroika und elektroaktive Polymere. Letztere zeichnen sich durch eine geringe mechanische Steifigkeit aus und erlauben somit ausgeprägte elektrisch induzierte Deformationen. Die hierfür erforderlichen großen elektrischen Felder lassen sich durch den Einsatz von Kompositstrukturen verringern, welche durch Mikrostrukturdesign optimiert werden können [9]. Im Rahmen eines in die PostDoc-Zeit fallenden

## STECKBRIEF



Auslandsaufenthalts bei Professor Kaushik Bhattacharya am California Institute of Technology kam Herr Keip vertieft mit Phasenfeldmethoden in Kontakt, welche fortan einen zentralen Gegenstand seiner Forschungstätigkeit spielen [1,6,8].

Im Oktober 2013 nahm Herr Keip einen Ruf auf eine Juniorprofessur des Exzellenzclusters Simulation Technology der Universität Stuttgart an. Er leitet dort eine Nachwuchsforschergruppe, die sich dem Spektrum der Mikrostrukturmodellierung und Homogenisierung von Materialien mit funktionalen Eigenschaften zuwendet. Eines der Anwendungsfelder bewegt sich im Bereich magneto-rheologischer Elastomere (MRE). Dies sind Kompositmaterialien, die durch eine Elastomermatrix mit darin eingebetteten magnetisierbaren Partikeln charakterisiert sind. Ihr effektives Materialverhalten ist durch magnetomechanische Interaktionen auf verschiedenen Skalen gekennzeichnet: Auf der Makroskala ist der MRE magnetischen Feldern ausgesetzt und interagiert mit seiner Umgebung [7]. Das zugrundeliegende Kopplungsverhalten basiert auf magnetomechanischen Kopplungseffekten zwischen Partikeln und Matrix auf der Mesoskala [5]. Diese Kopplung ist wiederum das Resultat der Magnetisierung der eingebetteten ferromagnetischen Partikel auf der mikroskopischen Skala [1]. In Abb. 1 sind beispielhafte Simulationsergebnisse einer ferromagnetischen Mikrostruktur dargestellt.

Magnetorheologische Elastomere sind, wie auch elektroaktive Polymerkomposite, durch eine weitestgehend periodische Mikrostruktur gekennzeichnet. Im Rahmen der Homogenisierung kann diese Periodizität durch Definition eines repräsentativen Volumenelements abgebildet werden. Aus experimentellen und theoretischen Arbeiten ist jedoch bekannt, dass sich die Periodizität eines Materials im Laufe seiner Belastung ändern kann. Verantwortlich hierfür sind Stabilitätsphänomene, welche zu seitlichem Ausweichen periodischer Elemente führen. Eine kürzlich

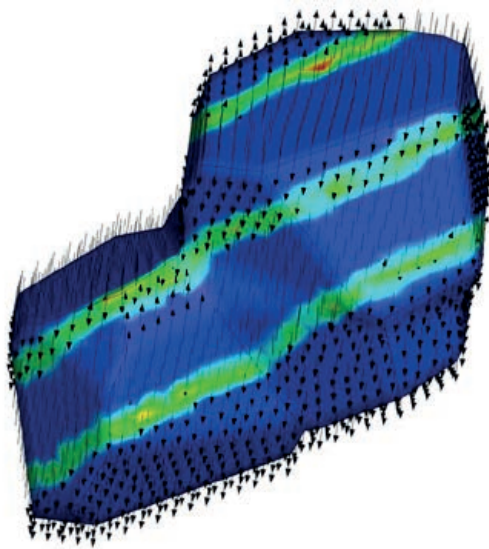


Abb. 1: Ausbildung ferromagnetischer Laminare in einem polykristallinen magnetostruktiven Material. Die Evolution der magnetischen Domänen wurde mit einem mikro-magneto-mechanischen Phasenfeldmodell simuliert [8].

veröffentlichte Arbeit konnte diese Phänomene für faserverstärkte elektroaktive Polymere unter Einsatz einer mikroskopischen Bloch-Floquet-Analyse aufzeigen [4], siehe Abb. 2.

Seit Dezember 2016 vertritt Herr Keip die Professur für Materialtheorie des Instituts für Mechanik an der Universität Stuttgart. Aktuelle Forschungstätigkeiten umfassen die skalenübergreifende Modellierung gekoppelten Materialverhaltens unter Beachtung von Struktur- und Materialstabilitäten auf verschiedenen Skalen [4], die Homogenisierung mit finiten Elementen und Spektralmethoden [2], datengetriebene Methoden der Mechanik [3] sowie die Phasenfeldmodellierung ferroischer Mikrostrukturen [1]. Basierend auf den wegweisenden Arbeiten von Professor Christian Miehe und seiner Arbeitsgruppe wurde das Forschungsfeld kürzlich um die Modellierung von Risswachstum erweitert [6], siehe hierzu auch Abb. 3.

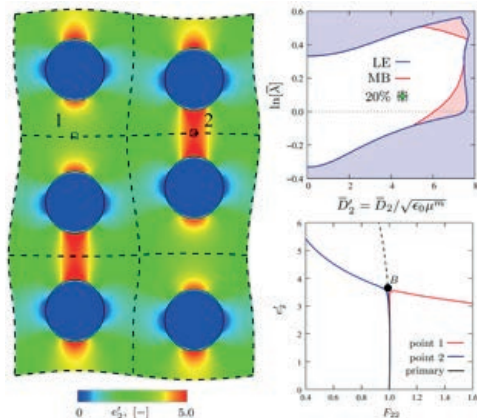


Abb. 2: Mikroskopische Knickmode eines elektroaktiven Komposits unter gekoppelter makroskopischer Belastung (links). Die kritische Periodizität wurde mittels Bloch-Floquet-Analyse bestimmt (rechts oben; kritische Lastbereiche in rot). Das Stabilitätsproblem ist durch Verzweigung mikroskopischer Feldgrößen gekennzeichnet (rechts unten) [4].

**Literatur**

- [1] M.-A. Keip & A. Sridhar, A variationally consistent phasefield approach for micro-magnetic domain evolution at finite deformations, submitted, 2018.
- [2] F. Göküzüm & M.-A. Keip, An algorithmically consistent macroscopic tangent operator for FFT-based computational homogenization, *Int. J. Numer. Methods Eng.*, 113: 581-600, 2018.
- [3] L. T. K. Nguyen & M.-A. Keip, A data-driven approach to nonlinear elasticity, *Comput. Struct.*, 194: 97-115, 2018.
- [4] E. Polukhov, D. Vallicotti & M.-A. Keip, Computational stability analysis of periodic electroactive polymer composites across scales, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 337: 165-197, 2018.
- [5] M.-A. Keip & M. Rambašek, Computational and analytical investigations of shape effects in the experimental characterization of magnetorheological elastomers, *Int. J. Solids Struct.*, 121: 1-20, 2017.
- [6] S. Teichtmeister, D. Kienle, F. Aldakheel & M.-A. Keip, Phase field modeling of fracture in anisotropic brittle solids, *Int. J. Nonlin. Mech.*, 97: 1-21, 2017.
- [7] M.-A. Keip & M. Rambašek, A multiscale approach to the computational characterization of magnetorheological elastomers, *Int. J. Numer. Methods Eng.*, 107: 338-360, 2016.
- [8] A. Sridhar, M.-A. Keip & C. Miehe, Homogenization in micro-magneto-mechanics, *Comput. Mech.*, 8: 151-169, 2016.
- [9] M.-A. Keip, P. Steinmann & J. Schröder, Two-scale computational homogenization of electro-elasticity at finite strains, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 278: 62-79, 2014.
- [10] J. Schröder & M.-A. Keip, Two-scale homogenization of electromechanically coupled boundary value problems - consistent linearization and applications, *Comput. Mech.*, 50: 229-244, 2012.

**Kontakt:**

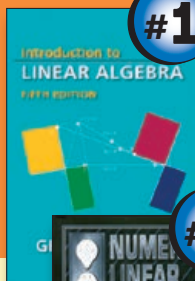
Jun.-Prof. Dr.-Ing. Marc-André Keip  
 Institut für Mechanik  
 Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften  
 Universität Stuttgart  
 Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart  
 Tel.: +49 711 685 66233  
 E-Mail: keip@mechbau.uni-stuttgart.de



Abb. 3: Risspfad entlang einer hohlzylindrischen Probe unter Zugbelastung. Die helixförmige Ausbreitung des Risses resultiert aus der Anisotropie des betrachteten Materials und wird durch ein Phasenfeldmodell für Risswachstum in spröden anisotropen Festkörpern modelliert [6].



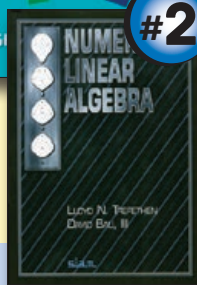
#1



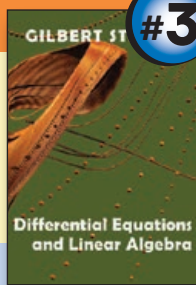
# BESTSELLERS *from* **siam**

Society for Industrial and Applied Mathematics

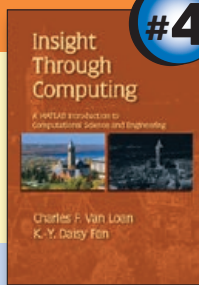
#2



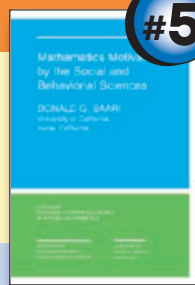
#3



#4



#5



**ORDER DIRECT at**  
**Bookstore.siam.org**

**30% OFF LIST PRICE**  
**FOR RUNDBRIEF READERS!**

1. **Introduction to Linear Algebra, Fifth Edition**  
Gilbert Strang  
2016 • x + 574 pages • Hard • 978-0-9802327-7-6  
List \$95.00 • Rundbrief Readers \$66.50 • WC14
2. **Numerical Linear Algebra**  
Lloyd N. Trefethen and David Bau III  
1997 • xii + 361 pages • Soft • 978-0-898713-61-9  
List \$69.50 • Rundbrief Readers \$48.65 • OT50
3. **Differential Equations and Linear Algebra**  
Gilbert Strang  
2014 • 512 pages • Hard • 978-0980232790  
List \$87.50 • Rundbrief Readers \$61.25 • WC13
4. **Insight Through Computing: A MATLAB Introduction to Computational Science and Engineering**  
Charles F. Van Loan and K.-Y. Daisy Fan  
2010 • xviii + 434 pages • Soft • 978-0-898716-91-7  
List \$65.50 • Rundbrief Readers \$45.85 • OT117
5. **Mathematics Motivated by the Social and Behavioral Sciences**  
Donald G. Saari  
2018 • xvii + 171 pages • Soft • 978-1-611975-17-8  
List \$59.00 • Rundbrief Readers \$41.30 • CB91
6. **Finite Difference Methods for Ordinary and Partial Differential Equations: Steady-State and Time-Dependent Problems**  
Randall J. LeVeque  
2007 • xv + 341 pages • Soft • 978-0-898716-29-0  
List \$72.00 • Rundbrief Readers \$50.40 • OT98
7. **Matrix Analysis for Scientists and Engineers**  
Alan J. Laub  
2005 • xii + 157 pages • Soft • 978-0-898715-76-7  
List \$50.00 • Rundbrief Readers \$35.00 • OT91
8. **MATLAB Guide, Third Edition**  
Desmond J. Higham and Nicholas J. Higham  
2017 • xxvi + 476 pages • Hard • 978-1-611974-65-2  
List \$62.00 • Rundbrief Readers \$43.40 • OT150
9. **Dynamic Mode Decomposition: Data-Driven Modeling of Complex Systems**  
J. Nathan Kutz, Steven L. Brunton, Bingni W. Brunton, and Joshua L. Proctor  
2016 • xvi + 234 pages • Soft • 978-1-611974-49-2  
List \$69.00 • Rundbrief Readers \$48.30 • OT149
10. **Fundamentals of Numerical Computation**  
Tobin A. Driscoll and Richard J. Braun  
2017 • xiii + 553 pages • Hard • 978-1-611975-07-9  
List \$104.00 • Rundbrief Readers \$72.80 • OT154
11. **Numerical Methods for Conservation Laws: From Analysis to Algorithms**  
Jan S. Hesthaven  
2018 • xvi + 570 pages • Soft • 978-1-611975-09-3  
List \$89.00 • Rundbrief Readers \$62.30 • CS18
12. **Uncertainty Quantification: Theory, Implementation, and Applications**  
Ralph C. Smith  
2014 • xviii + 382 pages • Hard • 978-1-611973-21-1  
List \$76.50 • Rundbrief Readers \$53.55 • CS12
13. **Computing Highly Oscillatory Integrals**  
Alfredo Dearnó, Daan Huybrechs, and Arieh Iserles  
2017 • x + 180 pages • Soft • 978-1-611975-11-6  
List \$79.00 • Rundbrief Readers \$55.30 • OT155
14. **Mathematics and Climate**  
Hans Kaper and Hans Engler  
2013 • xx + 295 pages • Soft • 978-1-611972-60-3  
List \$61.50 • Rundbrief Readers \$43.05 • OT131
- T15. **Differential Dynamical Systems, Revised Edition**  
James D. Meiss  
2017 • xvii + 392 pages • Soft • 978-1-611974-63-8  
List \$87.00 • Rundbrief Readers \$60.90 • MM22
- T15. **Exploring ODEs**  
Lloyd N. Trefethen, Ásgeir Birikisson, and Tobin A. Driscoll  
2018 • vii + 335 pages • Hard • 978-1-611975-15-4  
List \$64.00 • Rundbrief Readers \$44.80 • OT157
16. **Foundations of Applied Mathematics, Volume 1: Mathematical Analysis**  
Jeffrey Humpherys, Tyler J. Jarvis, and Emily J. Evans  
2017 • xx + 689 pages • Hard • 978-1-611974-89-8  
List \$89.00 • Rundbrief Readers \$62.30 • OT152
- T17. **A First Course in Numerical Methods**  
Uri Ascher and Chen Greif  
2011 • xxii + 552 pages • Soft • 978-0-898719-97-0  
List \$101.00 • Rundbrief Readers \$70.70 • CS07
- T17. **Calculus, Third Edition**  
Gilbert Strang  
2017 • xi + 682 pages • Soft • 978-0-9802327-5-2  
List \$75.00 • Rundbrief Readers \$52.50 • WC15
18. **Computational Science and Engineering**  
Gilbert Strang  
2007 • xi + 713 pages • Hard • 978-0-961408-81-7  
List \$90.00 • Rundbrief Readers \$63.00 • WC07
19. **First-Order Methods in Optimization**  
Amir Beck  
2017 • xii + 475 pages • Soft • 978-1-611974-98-0  
List \$97.00 • Rundbrief Readers \$67.90 • MO25
20. **Matrix Analysis and Applied Linear Algebra**  
Carl D. Meyer  
2000 • xii + 718 pages • Hard • 978-0-898714-54-8  
List \$110.00 • Rundbrief Readers \$77.00 • OT71
21. **Approximation Theory and Approximation Practice**  
Lloyd N. Trefethen  
2012 • viii + 305 pages • Soft • 978-1-611972-39-9  
List \$53.50 • Rundbrief Readers \$37.45 • OT128
22. **An Introduction to Data Analysis and Uncertainty Quantification for Inverse Problems**  
Luis Tenorio  
2017 • ix + 269 pages • Soft • 978-1-611974-91-1  
List \$69.00 • Member \$48.30 • MN03
23. **An Analysis of the Finite Element Method, Second Edition**  
Gilbert Strang and George Fix  
2008 • x + 402 pages • Hard • 978-0-9802532-70-7  
List \$80.00 • Rundbrief Readers \$56.00 • WC08

*\*SIAM's bestselling titles for the 12 months ended April 30, 2018. Sales are from all sources, including SIAM, online retailers, and SIAM's distribution partners.*

ALL PRICES ARE IN US DOLLARS.

**TO PURCHASE SIAM BOOKS, ORDER DIRECT AT BOOKSTORE.SIAM.ORG**  
**OR CONTACT SIAM: PHONE +1-215-382-9800 / FAX +1-215-386-7999 / 3600 MARKET STREET, 6TH FLOOR,**  
**PHILADELPHIA, PA 19104-2688. CUSTOMERS OUTSIDE NORTH AMERICA CAN ORDER THROUGH THE EUROSPAN GROUP AT**  
**EUROSPANBOOKSTORE.COM/SIAM. FOR GENERAL INFORMATION, GO TO WWW.SIAM.ORG.**



**DR.-ING. LUTZ PAULI**  
**GAMM-JUNIOR SEIT 2017**

**RWTH AACHEN UNIVERSITY**  
**LEHRSTUHL FÜR COMPUTERGESTÜTZTE**  
**ANALYSE TECHNISCHER SYSTEME (CATS)**

**DR. KATHRIN WELKER**  
**GAMM-JUNIOR SEIT 2018**

**UNIVERSITÄT TRIER**  
**FACHBEREICH IV - MATHEMATIK**  
**OPTIMIERUNG BEI PARTIELLEN**  
**DIFFERENTIALGLEICHUNGEN**

# JUNGE TALENTE IN BESTER GESELLSCHAFT

INFORMATIONEN ZUR MITGLIEDSCHAFT [www.gamm-ev.de](http://www.gamm-ev.de)





## YAMM LUNCH: HOW TO BALANCE AN ACADEMIC CAREER AND FAMILY

VON LUTZ PAULI & BENJAMIN UNGER

Following the successful first Young Academics in Applied Mathematics and Mechanics (YAMM) lunch at the GAMM annual meeting in Ilmenau@Weimar, the GAMM juniors decided to continue with the new format at the annual meeting in Munich. The idea of the YAMM lunch is to create an informal atmosphere for prospective young scientists and successful experts from applied mathematics and mechanics to discuss career opportunities and how to balance family and work.

At this year's lunch, we were happy to welcome ten experts who represented the various stages of the academic career path. The main topic of the lunch - which was provided at the Vorhoelzer Forum with a beautiful view over the city and the Alps - centered around the question how to combine a successful academic career with family planning and worklife balance. The importance of this topic was highlighted by the fact that all available tickets for the YAMM lunch were sold out quite fast. Due to the big interest and the feedback of the participants the

GAMM Juniors are happy to announce that the YAMM lunch will continue at the next annual meeting in Vienna.

The GAMM Juniors thank all the experts for sharing their personal stories and valuable advice, and thus for providing a fruitful atmosphere to render this event a success. Many thanks of the GAMM Juniors are addressed to the local organizing committee for their support during the organization of the YAMM.



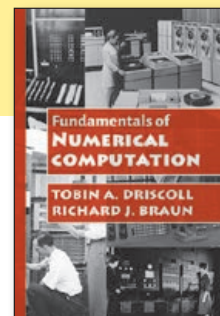
# KOLUMNENTITEL RUNDBRIEF READERS

## Save 30% on these SIAM titles:

### Fundamentals of Numerical Computation

Tobin A. Driscoll and Richard J. Braun

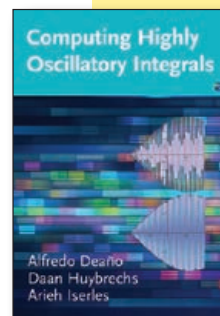
This advanced undergraduate-level introduction to the mathematics and use of algorithms for the fundamental problems of numerical computation is organized with simpler methods in the first half and more advanced methods in the second half, allowing use for either a single course or a sequence of two courses. The authors take readers from basic to advanced methods, illustrating them with over 200 self-contained MATLAB functions and examples designed for those with no prior MATLAB experience. 2017 • xxix + 553 pages • Hardcover • 978-1-611975-07-9 List \$104.00 • Rundbrief Readers \$72.80 • OT154



### Computing Highly Oscillatory Integrals

Alfredo Deaño, Daan Huybrechs, and Arieh Iserles

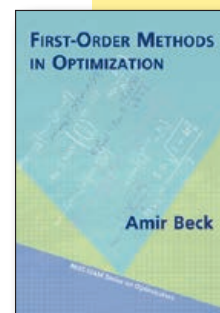
Highly oscillatory phenomena range across numerous areas in science and engineering and their computation represents a difficult challenge. Research in the past 15 years (in which the authors played a major role) resulted in a range of very effective and affordable algorithms for highly oscillatory quadrature. This is the only monograph bringing together the new body of ideas in this area in its entirety. 2018 • x + 180 pages • Softcover • 978-1-611975-11-6 • List \$79.00 • Member \$55.30 • OT155



### First-Order Methods in Optimization

Amir Beck

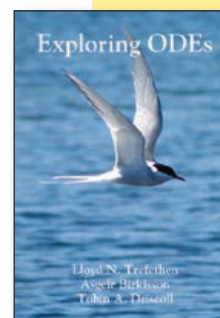
This book provides a self-contained, comprehensive study of the main first-order methods that are frequently used in solving large-scale problems. The author has gathered, reorganized, and synthesized (in a unified manner) many results that are scattered throughout the literature, many of which cannot be typically found in optimization books. 2017 • xii + 475 pages • Softcover • 978-1-611974-98-0 • List \$97.00 • Rundbrief Readers \$67.90 • MO25



### Exploring ODEs

Lloyd N. Trefethen, Ásgeir Birkisson, and Tobin A. Driscoll

Exploring ODEs is a textbook of ordinary differential equations for advanced undergraduates, graduate students, scientists, and engineers. It is unlike other books in this field in that each concept is illustrated numerically via a few lines of Chebfun code. There are about 400 computer-generated figures in all, and Appendix B presents 100 more examples as templates for further exploration. 2018 • vii + 335 pages • Hardcover • 978-1-611975-15-4 • List \$64.00 • Rundbrief Readers \$44.80 • OT157



Be sure to enter code "BKGM18" to get special discount price.

**siam** Society for Industrial and Applied Mathematics

**TO ORDER, SHOP ONLINE AT [bookstore.siam.org](http://bookstore.siam.org).**

Use your credit card (AMEX, Discover, MasterCard, or VISA) when ordering online, by phone at +1-215-382-9800 worldwide or toll free at 800-447-SIAM in USA and Canada, or by fax at +1-215-386-7999. Send check or money order to: SIAM, Dept. BKGM18, 3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688. Members and customers outside North America can order through the Eurospan Group, at [Eurospanbookstore.com/siam](http://Eurospanbookstore.com/siam).

6/18

# ORDER ONLINE: BOOKSTORE.SIAM.ORG

# LAUDATIO AUF DEN GASTREDNER DR. VASSILIOS THEOFILIS BEI DER LUDWIG-PRANDTL-GEDÄCHTNISLESUNG

VON MARTIN OBERLACK



Abb. 1: Vassilios Theofilis



Abb. 2: Martin Oberlack

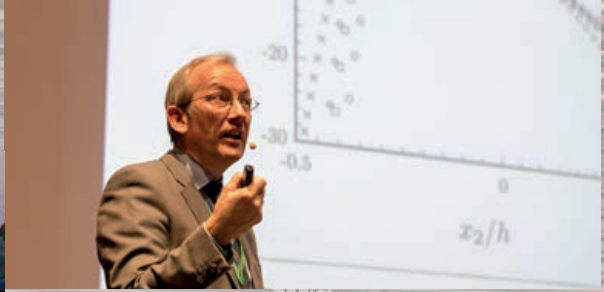
Vassilios Theofilis holds the Chair of Aerospace Engineering at the University of Liverpool, United Kingdom. His interest lies in the prediction and control of fluid flow instabilities and laminar-turbulent transition at all speed regimes. Theofilis has pioneered research of instability in flows with multiple inhomogeneous spatial directions and the associated numerical solution of large, so-called global, eigenvalue and initial-value problems. His research focuses on external aerodynamics, including attached and separated boundary layers, vortex systems in the wake of three-dimensional wings, shock-wave / boundary-layer interactions and hypersonic laminar-turbulent transition.

Theofilis graduated in Physics from the University of Patras, Greece, in 1984 and earned an M.Sc. in Applied Mathematics and Fluid Mechanics in 1987 and a Ph.D. in Aeronautical Engineering in 1991, both from the University of Manchester, U.K. He went on as a post-doc at the Department of Applied Mathematics of the University of Twente, before winning an Alexander von Humboldt Fellowship in 1996, to pursue laminar-turbulent transition research at the Institute of Fluid Mechanics of DLR

Göttingen. He stayed on at DLR as a research scientist working, amongst other topics, on the minimization of the wake of the Airbus A380. In 2003 Theofilis was elected first Ramon y Cajal senior research fellow and moved to the School of Aeronautics of the Technical University of Madrid, where he was tenured as Research Professor in 2006. He stayed in Spain until 2016, when he returned to the UK as a Professor of Aerospace Engineering at the University of Liverpool.

He has held visiting appointments at Cranfield University (2000 – 2003), the California Institute of Technology (2003 – present), the Universities of Arizona (2008), Maryland (2012) and São Paulo (2013 – 15), while currently he is a Visiting Professor at Universidade Federal Fluminense in Rio de Janeiro.

Theofilis is an Associate Fellow of the AIAA and has served as international member of the AIAA Fluid Dynamics Technical Committee between 2006 and 2013. While in Spain he was Coordinator of the Pilot Center Iberia West of the ERCOFTAC. Currently he serves on the Editorial Board of the Aerospace Science and Technology and Theoretical and Computational Fluid Dynamics journals.



# MÜNCHEN 2018





# GAMM 2018 IN MÜNCHEN

VON GERHARD MÜLLER UND MICHAEL ULBRICH

Vom 19.-23. März 2018 fand die 89. Jahrestagung der GAMM an der Technischen Universität München statt. Wir fühlten uns sehr geehrt, diese wichtige und traditionelle Zusammenkunft der Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik organisieren zu dürfen. In München wurde die Tagung letztmalig im Jahr 1973 ausgerichtet. Wenngleich nicht wirklich so „hingeplant“, aber trotzdem für uns symbolisch: Wunderbar, dass die Tagung genau in unser Jubiläumsjahr fiel. Die Technische Universität München feierte am 12. April 2018 ihr 150jähriges Bestehen.

Mit 1372 Teilnehmerinnen und Teilnehmern aus 30 Ländern und 995 Vorträgen war es diesmal wieder eine außerordentlich große Veranstaltung, die eine Woche das Leben am Stammgelände unserer Universität bereicherte. Es ist nicht sicher, ob wir einen Rekord bei der Teilnehmerzahl brachen, sicher ist aber, dass wir alle GAMM-Kälterekorde brachen. Es war so kalt, dass in der Nacht vor der Tagung sogar die Kaffeemaschinen komplett vereisten und das Heizöl für das Garderobenzelt versulzte.

Den Auftakt, traditionell am Montag, übernahmen die Präsidentin der GAMM, Frau Professor Faßbender und der Präsident der TU München, Herr Professor Herrmann. Die Jahresversammlung der GAMM lebt von ihren verschiedenen Formaten: Höhepunkte waren der Vortrag des Richard-von-Mises-Preisträgers, Marc Avila, Universität Bremen, die Ludwig Prandtl Memorial Lecture, Vassilios Theofilis, University of Liverpool, und 8 internationale Plenarvorträge.

Das in Weimar 2017 neu etablierte Format eines Empfangs der GAMM-Juniors, das „YAMM Lunch: Career Opportunities for Young Academics“ fand mit einem gemeinsamen Mittagessen in jenen Räumlichkeiten unserer Universität statt, die den schönsten Ausblick auf München bis in die Berge bieten. GAMM-Juniors stellten ihre Arbeiten auch über ansprechende Poster vor. Keine Jahrestagung der GAMM ohne eine Public-Lecture, welche die Stimmung der Tagung und den Geist der Disziplinen auch in die umliegende Stadt trägt.

In unserer Veranstaltung haben wir versucht, inspiriert durch die aktuelle öffentliche Diskussion zur Münchner Konzertsaalplanung und die akustischen Herausforderungen im Rahmen der Elektromobilität, die Wechselwirkung von Mechanik, Mathematik, menschlicher Wahrnehmung und Kunst über den Namen „Sounds of the Future“ in die Öffentlichkeit zu tragen. Mit seinem Hauptvortrag beleuchtete der renommierte Geigenbaumeister und Diplomphysiker Martin Schleske mit großer Begeisterung Geheimnisse des Geigenbaus und deren unterschiedliche Dimensionen, Empirie, vibroakustische Analyse, Intuition und Inspiration. Der Vortrag wurde durch ein beeindruckendes Cello-Duo der bekannten Künstler Hyung-Jun und Julius Berger untermalt. Abgerundet wurde die Public-Lecture durch zwei weitere inspirierende Vorträge, des Raumakustikers Jürgen Reinhold, Müller-BBM, der über die Herausforderungen bei der Renovierung des Bolschoi Theaters in Moskau berichtete, und des Sound-Designers Renzo Vitale, BMW, der einen Einblick in die Soundgestaltung und seine Vorstellungen von der Verzahnung von Kunst und Ingenieurwesen gab. Die Veranstaltung war ein großer Erfolg.

Das Tagungsprogramm beinhaltete neben den traditionellen Plenarveranstaltungen 5 Minisymposia mit insgesamt 29 Vorträgen, 5 Young Researcher-Minisymposia mit insgesamt 30 Vorträgen und 24 Sektionen mit über 850 Vorträgen sowie 39 Vorträge aus 7 DFG-Schwerpunktprogrammen mit engem Bezug zur GAMM. Dabei gab es nur weniger als ein Dutzend No-shows der letzten Minute und die Abweichungen gegenüber dem offiziellen Programm konnten durch das Online-Programm unkompliziert live dokumentiert werden. Darüber hinaus machte es die hohe zeitliche Disziplin der Vortragenden und der Chairmen möglich, dass der Wechsel zwischen den Vortragssälen im Innenstadtcampus der TUM München über die dortigen kurzen Wege gut gelang.

Über diese kurzen Wege zwischen den vielen thematisch sortierten Hörsälen und den naheliegenden Fo-



yers für Kaffeepausen, versuchten wir eine gute Atmosphäre zu schaffen. Dies gelang, vor allem dank der lebendigen, ja fröhlichen und anregenden wissenschaftlichen Gemeinschaft, aber vielleicht auch dank der außerordentlichen Kälte in München, die dazu führte, dass man sich lieber in den Tagungsräumen aufhielt, als in die Münchner Innenstadt oder den attraktiven Museumsdistrikt zu entschwinden, der unsere Universität umschließt.

Die traditionelle Welcome-Reception des ersten Tages in der Mensa der TUM beeindruckte sowohl von der Zahl der Stehtische als auch vom Geräuschpegel. Am Mittwoch folgte das feierliche Conference-Dinner im Löwenbräukeller am Stiglmaierplatz mit über 1000 Gästen in einem typischen Ambiente mit bayrisch-moderner Musik eines Blechbläserquartetts. Dies gab das musikalische Gegenstück zum Jazz bei der Eröffnung und der Welcome-Reception. Ein Münchner Element war eine aus der TUM heraus entstandene Tanzgruppe, welche die Münchner Morisken in lebendige Akroba-

ten verwandelte. Die Morisken wurden als Lindenholzfiguren von Erasmus Grasser 1480 für den Festsaal des Alten Münchner Rathauses geschaffen und sind dort immer noch zu sehen.

Wir bedanken uns für die Unterstützung durch unsere Sponsoren, für die kostenlose Überlassung der Räumlichkeiten durch die TUM, trotz des eng gepackten Jubiläumsjahres und der zeitgleichen stattfindenden Tagung der Deutschen Gesellschaft für Akustik DAGA am Standort Garching. Ein herzlicher Dank allen Co-OrganisatorInnen, allen Mitwirkenden an der TUM, den Studierenden, MitarbeiterInnen sowie ProfessorInnen, stellvertretend für sie alle Herrn Dr. Buchschmid und Frau Dr. Taddei, die über den langen Vorbereitungszeitraum die Organisation innehatten. Wir waren von unseren Gästen an der TUM, von der Durchführung und vom schönen Miteinander begeistert.

Unser herzlichster Dank gilt der Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik für die Gelegenheit, ihre Jahrestagung an der TUM abzuhalten.





## GAMM 2018 IN MÜNCHEN: OPENING SPEECH

HEIKE FABBENDER

Ladies and Gentlemen, dear Colleagues,

it is a great pleasure to welcome you all to the 89th annual meeting of the International Association for Applied Mathematics and Mechanics, in short to this year's GAMM annual meeting.

In particular I would like to welcome Prof. Dr. Wolfgang A. Herrmann, the President of the Technical University of Munich. We are honored that TUM made it possible to accommodate our GAMM annual meeting in the year of its 150th birthday! There will certainly be numerous further activities.

Thanks to the local organizers Gerhard Müller and Michael Ulbrich and their big team for giving us the chance to visit Munich. I am convinced you made sure that we will have an excellent meeting.

This is the fourth time that GAMM has been invited to Munich. As we have already heard, the last time the GAMM annual meeting was organized in Munich was in 1973. Obviously, I can not comment on that meeting. To me, coming back to Munich brings back memories of my first professor position which I took up here. That was at the time when the math department was still located here in the Stammgelände, Bayern was playing in the Olympiastadion and it was easy to get tickets. I had only known universities founded around 1970 before I came here. Let's say, it was a steep learning curve to get used to a university culture of a technical university which had a tradition of more than 120 years.

Having spend more than 15 years in Braunschweig by now I cannot let the opportunity pass to mention that without Braunschweig there would be no Munich. As you may know, Henry the Lion was one of the most powerful German dukes of his time. In 1142 he made Braunschweig the capitol of his state which, from 1156 on, also included the Duchy of Bavaria. In 1158 he redirected the then important salt trade route over a newly built bridge over the Isar taking taxes from salt traders passing the bridge. This is considered as

the foundation of Munich.

Please allow me a few words on the current situation in which fake news and misleading information seem to be prevailing. Confidence in research declines. Of course, the situation in Germany is much better than in other countries. But we need to be alert. It is our obligation to stand up and fight the confidence crisis. Scientific knowledge is a non-negotiable foundation of the discourse of our society. GAMM is committed to promoting not only research itself, but also the value of research in applied mathematics and mechanics. The European Code of Conduct for Research Integrity<sup>1</sup> says "Research is the quest for knowledge obtained through systematic study and thinking, observation and experimentation. ... It is underpinned by freedom to define research questions and develop theories, gather empirical material and employ appropriate methods. Therefore, research draws on the work of the community of researchers and ideally develops independently of pressure from commissioning parties and from ideological, economic or political interests." Every one of us must stick to professional, legal and ethical responsibilities. And we need to communicate what we are doing, how we are doing it and why we are doing it. This may be really difficult as this sometimes requires (over)simplification and maybe emotionalizing our research, something most of us are not good at as it somehow requires some fuzziness in our presentation. This contradicts what science stands for, but we need to try. We also need to make a clear distinction between ascertained knowledge and personal opinion, something that might be much easier in applied mathematics and mechanics than in other fields. I firmly believe that GAMM and its members have to be active in this regard.

But let us move from global politics to our meeting here in Munich. This is my second annual meeting as president of GAMM. Last year I said that I hope GAMM is more than

<sup>1</sup> The European Code of Conduct for Research Integrity, see <http://www.allaia.org/wp-content/uploads/2017/03/ALLEA-European-Code-of-Conduct-for-Research-Integrity-2017-1.pdf>

just the annual meeting to you. Some of you talked to me afterwards and confirmed my point of view

- that GAMM is the platform for interdisciplinary research in applied mathematics and mechanics in Germany and
- that much of the society's activity takes place in the GAMM activity groups.

The various DFG Priority Programs, which present themselves tomorrow after lunch, show that such programs have been successfully initiated from our own ranks or, at least, with a large number of GAMM members involved. This proves that within GAMM we are working on some of the foremost research problems.

Just as well, our GAMM Juniors and the newly established GAMM student chapters were mentioned as vital parts of GAMM. Both groups have given and will give fresh impetus and help us to make GAMM fit for the future. The GAMM Juniors, for example, have suggested to implement an online open-access student journal for scientific contributions from and for students in the fields of applied mathematics and mechanics. The journal will be run by the GAMM Juniors who will organize the entire publication process including the refereeing process. In case you are interested, please attend the general assembly to learn more.

But there is more to what GAMM stands for and to what GAMM is active in.

Let me draw your attention to another field of actions of GAMM which do not get that much attention so far. First of all, GAMM is a member of other societies. In particular, GAMM is a member of (listed in alphabetical order)

- European Community on Computational Methods in Applied Sciences (ECCOMAS)
- European Mathematical Society (EMS)
- European Mechanics Society (EUROMECH)
- International Council for Industrial and Applied Mathematics (ICIAM)
- International Union of Theoretical and Applied Mechanics (IUTAM)
- Verein zur Förderung des Mathematischen Forschungsinstituts Oberwolfach (Friends of Oberwolfach) and Gesellschaft für Mathematische Forschung e.V. GMF

GAMM is spending almost 20% of its annual income on these memberships. In general, we can appoint some delegates to those societies who should represent GAMM at the respective meetings and speak up for GAMM's interests. E.g., in some societies our delegates have the right to vote on the scientific committee of the annual meeting of that society. That is a great opportunity to make sure that either GAMM itself is represented in the scientific committee or at least someone from a friendly society who will also think of GAMM's interest. Or our delegates can submit suggestions for plenary speakers and can even vote on the final selection of plenary speakers. That way our delegate can promote our members and make sure that our research is well represented not only in Germany. Some of the societies even lobby on an European level, e.g., in Brussels for a better research funding and picking up research fields which are important to us.

A different field GAMM is active in is in this year the DFG Review Board Election (Fachkollegienwahl in German). The DFG review boards evaluate proposals to fund research

projects. They also monitor the review process to ensure that uniform standards are being observed. In addition they advise on issues concerning the further development and organisation of the DFG funding programmes. As in the past, GAMM will apply for the right to nominate candidates. The Managing Board has set up a small committee which will organize the generation of a list of nominees.

Please get involved in GAMM, become a member and/or get active in the activity groups or in one of our committees. There is a lot to do.

Traditionally, at the end of the speech of the president, the Richard-von-Mises prize winner is announced. As you certainly know, since 1989 every year one or two outstanding contributions in the field of applied mathematics and mechanics have been awarded the Richard-von-Mises prize. The prize is named after Richard von Mises, who together with Ludwig Prandtl founded our society, the GAMM, in 1922. The impressive list of awardees can be found on the GAMM webpage. This year's von-Mises laureate is Prof. Dr. Marc Avila from the University of Bremen. With a master in mathematics, a PhD in applied physics and well-recognized research in mechanics and physics of transition of turbulence Dr. Avila represents a cornerstone of GAMM.

I would like to invite our laureate to come to the stage, so that I can present a certificate to you.

The prize committee consisted of our colleagues Jacobs (Wuppertal), Kuhlmann (Wien), Lammering (Hamburg), Wieners (Karlsruhe) and was headed by myself ex officio as the current president. We had the hard work to pick the best among nine very good nominations.

The certificate reads:

"RICHARD-VON-MISES PRIZE OF GAMM 2018 is awarded by the "Dr.-Klaus-Körper-Stiftung" for excellent scientific achievements in Applied Mathematics and Mechanics to Prof. Dr. Marc Avila in recognition of his outstanding work "on the dynamical-system approach to the turbulence problem"."

Please attend the Richard-von-Mises-prize lecture on Wednesday, at half past ten.

Let me remind all GAMM members that the general assembly of our society will also take place on Wednesday; namely, at 11.30 after the von-Mises prize lecture and the coffee break. Apart from the usual reports, we will have some elections, where those of you who did not take part in the electronic election system can finally cast their vote.

We will now come to the first highlight of the annual GAMM conference, the traditional Ludwig-Prandtl-Memorial Lecture which is jointly organized by GAMM and the German Society for Aeronautics and Astronautics, in short DGLR. This year the lecture will be given by Vassilios Theofilis from the University of Liverpool who will speak on "Global Linear Stability Theory in Aerospace Applications" in a few moments.

Ladies and gentlemen, I now declare the GAMM conference in Munich open and wish all of us an interesting and exciting event.

Heike Faßbender,  
GAMM President

# BESCHLUSSPROTOKOLL ZUR HAUPTVERSAMMLUNG 2018 DER GESELLSCHAFT FÜR ANGEWANDTE MATHEMATIK UND MECHANIK E.V.

Die Hauptversammlung der GAMM fand während der Jahrestagung 2018 am Mittwoch, dem 21. März 2018, in der Zeit von 11.30 – 12:30 Uhr, im Audimax der TU München statt.

Zu Beginn der Veranstaltung waren 121 Mitglieder anwesend.

Den Vorsitz der Hauptversammlung hatte der Sekretär der GAMM, Herr Kaliske, inne, der auch das Protokoll führte.

Alle Mitglieder wurden satzungsgemäß unter Angabe der folgenden Tagesordnung im Januar 2018 schriftlich eingeladen:

## Tagesordnung

1. Bericht der Präsidentin
2. Bericht der Schatzmeisterin
3. Bericht der Kassenprüferinnen
4. Diskussion / Entlastung des Vorstands
5. Wahlen

### Mitglieder des Vorstandsrats

Prof. C. Wieners, Karlsruhe, 2. Amtszeit bis 2018, nicht wieder wählbar  
Prof. R. Lammering, Hamburg, 2. Amtszeit bis 2018, nicht wieder wählbar  
Prof. R. Seifried, Hamburg, 1. Amtszeit bis 2018, wieder wählbar

### Kassenprüfer

6. Mitgliedsbeiträge
7. Fachausschüsse
8. Verschiedenes

## 1. Bericht der Präsidentin

Die Präsidentin informiert über

- das Ableben von Mitgliedern der Gesellschaft,
- die Vorbereitung und Planung der zukünftigen GAMM-Jahrestagungen,

- die Mitgliederbewegung im letzten Jahr,
- die GAMM-Publikationen,
- die Vergabe des Richard-von-Mises-Preises und der Dr.-Klaus-Körper-Preise,
- die GAMM-Junioren zusammen mit einem Beitrag des ehemaligen Sprechers der Gruppe, Herrn Kern,
- die nationalen Sektionen,
- die GAMM-Repräsentanten,
- Zukunftsfragen.

## 2. Bericht der Schatzmeisterin

Die Schatzmeisterin, Frau Walther, stellt den Kassenbericht für den Zeitraum vom 01.01.2017 bis 31.12.2017 vor und unterstreicht, dass zum wiederholten Male eine negative Bilanz zu verzeichnen ist. Anfragen wurden nicht gestellt.

## 3. Bericht der Kassenprüferinnen

Frau Walther stellt den schriftlich vorliegenden Prüfbericht der Kasse für das Jahr 2017 vor. Die Überprüfung der Einnahmen und Ausgaben erfolgte stichprobenartig auf der Grundlage des Kassenberichts des Schatzmeisters. Alle vorgelegten Unterlagen waren vollständig. Es ergaben sich keine sachlichen Beanstandungen, Empfehlungen wurden nicht ausgesprochen.

## 4. Diskussion/Entlastung des Vorstands

Über den Antrag zur Entlastung des Vorstands wird abgestimmt. Mit fünf technischen Enthaltungen wird dem Antrag zugestimmt.

## 5. Neuwahlen

Der Vizepräsident, Herr Ehlers, stellt die für den Vorstandsrat zur Wahl stehenden Kandidaten vor.

Die geheime Abstimmung (Urnenwahl und elektronische Wahl) führt auf folgendes Ergebnis:



### Mitglieder des Vorstandsrats

Prof. C. Wieners, Karlsruhe, 2. Amtszeit bis 2018, nicht wieder wählbar  
 Prof. R. Lammering, Hamburg, 2. Amtszeit bis 2018, nicht wieder wählbar  
 Prof. R. Seifried, Hamburg, 1. Amtszeit bis 2018, wieder wählbar

### Wahlergebnis

Vorstandsratsmitglieder

Angewandte Analysis u.

Numerische Simulation Roland Herzog 262 Stimmen (19 Enth.)

Festkörpermechanik Tim Ricken 243 Stimmen (38 Enth.)

Dynamik und

Regelungstheorie Robert Seifried 255 Stimmen (26 Enth.)

Die jeweilige Amtszeit beginnt am 1. Januar 2019 und endet am 31. Dezember 2021.

Der Vize-Präsident dankt den ausscheidenden Mitgliedern des Vorstandsrats für die engagierte Mitarbeit.

Einstimmig werden Herr Beitelschmidt und Herr Neukamm als Kassenprüfer für ein Jahr in offener Abstimmung gewählt.

### 6. Mitgliedsbeiträge

Zu diesem TOP liegt kein Beitrag vor.

### 7. Fachausschüsse

Der Vizesekretär, Herr Müller, berichtet über die Schließung der Fachausschüsse

„Angewandte Operatortheorie“,  
 „Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen“,

die Evaluierung der Fachausschüsse

„Analysis partieller Differentialgleichungen“,  
 „Angewandte und Numerische Lineare Algebra (ANLA)“,  
 „Phasenfeldmodellierung“

sowie die Einrichtung der neuen Fachausschüsse

„Computational Biomechanics“,  
 „Angewandte Operatortheorie“,  
 „Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen“.

Ergänzungen oder Anfragen zu dem Bericht liegen nicht vor.

### 8. Verschiedenes

Es liegen keine Wortmeldungen vor.

Die nächste Hauptversammlung findet voraussichtlich am 20. Februar 2019 in Wien statt.

Heike Faßbender  
 Präsidentin  
 Braunschweig, 01.07.2018

Michael Kaliske  
 Sekretär  
 Dresden, 01.07.2018

# BERICHT DER PRÄSIDENTIN AN DIE MITGLIEDER DER GAMM AUF DER MITGLIEDERVERSAMMLUNG AM 21. MÄRZ 2018 IN MÜNCHEN

Liebe Kolleginnen und Kollegen,  
meine Damen und Herren,

ich begrüße Sie sehr herzlich zur diesjährigen Mitglieder-  
versammlung der „Gesellschaft für Angewandte Mathe-  
matik und Mechanik“, der GAMM.

## Verstorbene Mitglieder

Wie in jedem Jahr gedenken wir als erstes unserer ver-  
storbenen Mitglieder. Es ist mir eine traurige Pflicht, Sie  
über das Ableben der folgenden Kollegen informieren zu  
müssen:

- Dr. Rita Schmidt, Berlin
- Dr. Klaus Dieter Braune, Karlsruhe
- Prof. Dr. Ing. Wilfried B. Krätzig, Bochum
- Prof. Dr. Hermann Luttermann, Poggenhagen
- Prof. Dr. Norbert Kuhlmann, Essen
- Prof. Dr. Erich Bohl, Konstanz
- Prof. Dr. Eberhard Zeidler, Leipzig
- Prof. Zinovy Sheftel, Göttingen
- Dr.-Ing. Volker Weißgerber, Darmstadt
- Prof. Dr.-Ing. Hans Bufler, Lochham-Gräfelfing
- Prof. Ivo K. Marek, Prag
- Dr. Peter Schütze, Darmstadt
- Prof. Dr.-Ing. Jan Vrbka, Brünn
- Prof. Dr.-Ing. Siegfried Wagner, Stuttgart

Allen Verstorbenen wird die Gesellschaft für Angewandte  
Mathematik und Mechanik ein ehrendes Gedenken be-  
wahren.

Ich darf Sie bitten, sich zum Zeichen der Trauer und der  
Anteilnahme von Ihren Plätzen zu erheben.

Sie haben sich zum Zeichen der Trauer und Anteilnahme  
von Ihren Plätzen erhoben. Ich danke Ihnen.

Zunächst möchte ich mich im Namen der GAMM bei den  
örtlichen Tagungsleitern, unseren Kollegen Gerhard Mül-  
ler und Michael Ulbrich bedanken, die uns mit ihrem Team  
hier in München mit großem Einsatz eine sehr gut organi-  
sierte GAMM-Jahrestagung bieten. Dieser Dank geht ins-  
besondere auch an Wolfgang Wall und Barbara Wohlmuth,  
die die beiden Hauptorganisatoren im Core-Team unter-  
stützt haben, sowie an die Kollegen und Kolleginnen im  
erweiterten Organisationsteam Kai-Uwe Bletzinger, Hans  
J. Bungartz, Fabian Duddeck, Massimo Fornasier, Michael  
W. Gee, Thomas Huckle, Oliver Junge, Ernst Rank, Daniel  
Rixen und Elisabeth Ullmann. Allen einen ganz herzlichen  
Dank! Ein weiterer Dank geht an die vielen Helfer und Hel-  
ferinnen im Hintergrund, für die ich stellvertretend Frau

Dr.-Ing. Taddei nennen möchte. Ohne sie wäre die Durch-  
führung einer solchen Tagung undenkbar.

## Nächste Jahrestagungen

Im kommenden Jahr wird die Jahrestagung der GAMM  
vom 18. bis zum 22. Februar 2019 in Wien stattfinden.  
Diese Tagung steht unter der Leitung unserer Kollegen  
Josef Eberhardsteiner und Joachim Schöberl. Der Pro-  
grammausschuss hat bereits am 26. Januar in Wien ge-  
tagt und, zumindest meiner Ansicht nach, erneut ein sehr  
attraktives Programm zusammengestellt.

Seitens der GAMM wurden für die folgenden Jahre wei-  
tere Einladungen angenommen:

- 2020: Kassel, Tagungsleitung Kuhl/Wünsch
- 2021: Aachen, Tagungsleitung Reese/Markert
- 2022: Dresden zur 100-Jahr-Feier der GAMM, die ja  
1922 in Dresden gegründet wurde.

An dieser Stelle möchte ich betonen, dass nicht die  
GAMM die Jahrestagungen veranstaltet. Das komplette,  
insbesondere finanzielle, Risiko trägt das lokale Orga-  
nisationsteam. Es ist daher extrem erfreulich, dass wir  
auch für die kommenden Jahre Bewerbungen um die  
Ausrichtung der GAMM-Jahrestagung vorliegen haben.  
Den Kollegen und Kolleginnen, die diese Aufgabe über-  
nehmen, kann nicht genug im Namen der GAMM ge-  
dankt werden.

In diesem und im letzten Jahr gab es seitens einiger Teil-  
nehmer und Teilnehmerinnen eine z.T. sehr deutliche  
Rückmeldung in Bezug auf das in der Tagungsgebühr  
inkludierte Conference-Dinner. Es konnte nicht abge-  
wählt werden, auf der Rechnung tauchte das Confe-  
rence-Dinner dann als separater Posten auf. In einigen  
Bundesländern werden die Kosten für ein solches Con-  
ference-Dinner aufgrund der jeweiligen Reisekosten-  
gesetze nicht erstattet. Insbesondere Doktoranden und  
Doktorandinnen mussten das Dinner aus eigener Tasche  
bezahlen. Recht verärgert waren auch Teilnehmer und  
Teilnehmerinnen, die nicht an dem Dinner teilnehmen  
konnten, dies aber bezahlen mussten. Dem Vorstandsrat  
ist dies bewusst. Bei der Vergabe der GAMM-Jahres-  
tagung an die jeweiligen Standorte wird dieser Aspekt  
jedes Mal thematisiert. Da aber die Verantwortung für  
das Gelingen der Jahrestagung bei dem lokalen Organi-  
sationsteam liegt, müssen wir diesem die finale Entschei-  
dung in allen organisatorischen Fragen überlassen.

## Mitgliederbewegungen

Ende Januar hatte die GAMM 953 beitragszahlende Mit-  
glieder, davon 105 Mitglieder, die über ein Reziprozitäts-  
abkommen einen ermäßigten Beitrag zahlen und 869  
„Vollzahler“. Zudem gibt es 237 Mitglieder, die z.B. weil

sie unter 32 Jahre alt sind oder als Studierender immatrikuliert sind, einen ermäßigten Beitrag zahlen. Es gab 75 Eintritte bei 65 Austritten, wobei hier die Todesfälle schon mitberücksichtigt sind.

Konkret gab es mit Stand 31.01.2018

Persönlichen GAMM-Mitglieder	869
Ermäßigte Mitglieder, Studenten	122
Temporär beitragsfreie Mitglieder (Junioren, Preisträger)	60
Emeritierte Mitglieder	48
Universitäre Einrichtungen	19
Beitragsfreie Mitglieder	564
Korporativen Mitglieder	1
Reziproke Mitglieder	105
Gesamtanzahl GAMM-Mitglieder	1788

### Mitgliederbeiträge

Im letzten Jahr hatten wir beschlossen, erstmals nach 2008 ab dem 01.01.2018 den Mitgliedsbeitrag zu erhöhen. Dies wird nach unseren aktuellen Erkenntnissen leider kaum reichen, unsere jährlichen Ausgaben zu decken. Unsere neue Schatzmeisterin wird Sie im Laufe der Sitzung genauer darüber informieren.

Der Vorstandsrat hat beschlossen, dass eine Lifetime Membership eingeführt werden soll. Eine solche kann ab sofort jedes Mitglied bei Eintritt in den Ruhestand durch Zahlung von einmalig der Summe von 4 Jahresbeiträgen erwerben, weitere Zahlungen sind nicht erforderlich. Die so erworbene Mitgliedschaft dauert bis zum Austritt an.

An dieser Stelle möchte ich wie im vergangenen Jahr anmerken, dass wir weiterhin Schwierigkeiten mit säumigen Beitragszahlern und Beitragszahlerinnen haben. Ich hatte im letzten Jahr unseren Schatzmeister gebeten, ab sofort schon nach dem ersten Ausbleiben der Beitragszahlung zu mahnen und im Falle des Falles nach einer ergebnislosen erneuten zweiten Mahnung die betreffende Person auszuschließen. Wir konnten so einige ausstehende Mitgliedsbeiträge eintreiben. Das Erteilen einer Einzugsermächtigung würde uns die Arbeit erheblich vereinfachen.

### GAMM-Publikationen

Nun zu unseren Publikationen. Zum GAMM-Rundbrief gibt es im Grunde nichts Neues. Sie sollten ihn auch im vergangenen Jahr planmäßig erhalten haben. Einen herzlichen Dank für ihr Engagement für den interessanten und gern gelesenen Rundbrief geht hier erneut an die Kollegen Klawonn und Schröder.

Tatsächliches neues gibt es hingegen, wie im letzten Jahr schon angekündigt, von den GAMM-Mitteilungen, der ZAMM und der PAMM zu berichten. Ich war in die Überlegungen nicht involviert, das meiste fand vor meiner Amtszeit statt. Zudem ist im Vorstand der Vizepräsident, also Wolfgang Ehlers, zuständig für das Thema Publikationen. Die tatsächlich mit dem Wiley-Verlag unterschriebenen Verträge habe ich nicht gesehen. Ich kann daher im Folgenden nur berichten.

Bislang hat die Universität Halle-Wittenberg die Stelle von Frau Platzer finanziert. Wie viele von Ihnen sicherlich wissen, hat Frau Platzer bisher zentrale Aufgaben



im Arbeitsablauf bei der ZAMM übernommen. Frau Platzer geht nun in den wohlverdienten Ruhestand. Die Uni Halle-Wittenberg hat dies zum Anlass genommen, der GAMM mitzuteilen, dass sie die bisherige Unterstützung der ZAMM nicht weiter finanziert. Daher ergab sich die Notwendigkeit für eine Neuordnung des Herausgabeprozesses. Konkret waren die Verträge mit dem Wiley-Verlag, bei dem ZAMM, PAMM und die Mitteilungen erscheinen, neu zu formulieren. Alle drei Publikationen erscheinen ab sofort nur noch online. Wie bislang ist der Zugang zur ZAMM nicht kostenlos, sondern kann von allen GAMM-Mitgliedern, die dies wünschen, für 42 EUR/Jahr erworben werden. Durch die Umstellung bei den Mitteilungen wird die GAMM jährlich etwas Geld sparen. Zudem werden ab sofort 4 Hefte/Jahr erscheinen, so dass eine Aufnahme in die gängigen Zitationsindices (Scopus, Web of Science, etc.) möglich ist. Der Zugriff ist für GAMM-Mitglieder kostenfrei. Informationen, wie Sie zugreifen können, erhalten Sie noch seitens der Geschäftsstelle. Bei der PAMM sollen zudem die Abläufe professionalisiert werden, insbesondere soll es seitens Wiley eine Weboberfläche zum Einreichen der Beiträge geben. Die damit verbundenen Kosten werden seit diesem Jahr durch eine Erhöhung der Konferenzgebühr der Jahrestagung um 10 Euro pro Teilnehmer und Teilnehmerin erwirtschaftet.

### Richard-von-Mises-Preis

Der Richard-von-Mises-Preis ist dieses Jahr wieder als Richard-von-Mises-Preis der „Dr.-Klaus-Körper-Stiftung“ vergeben worden. Es lagen erneut 9 sehr gute Nominierungen vor. Das Preiskomitee bestehend aus der Kollegin Birgit Jacob (Wuppertal) und den Kollegen Kuhlmann (Wien), Lammering (Hamburg) und Wieners (Karlsruhe) hat unter meiner Leitung getagt. Der diesjährige Preisträger ist, wie Sie sicher inzwischen wissen, Herr Marc Avila von der Universität Bremen (ZARM). Der hochinteressante Preisvortrag fand direkt vor der Mitgliederversammlung statt.

### Dr.-Klaus-Körper-Preis

Die Dr.-Klaus-Körper-Stiftung der GAMM vergibt jährlich 4 Preise (dotiert mit jeweils 250 Euro und einer zweijährigen kostenlosen Mitgliedschaft in der GAMM) für die besten Dissertationen des vergangenen Jahres in Angewandter Mathematik und Mechanik.

Hier gab es in diesem Jahr 15 Vorschläge. Zu allen Vorschlägen werden je zwei fragebogengestützte Gutachten eingeholt. Basierend auf den Auswertungen erfolgt dann die Reihung der Vorschläge.

Die Preisträger dieses Jahres sind

- Dr. Gregor Gantner
- Dr. Björn Sprungk
- Dr.-Ing. Anton Köllner
- Dr.-Ing. Marreddy Ambati

Allen vieren auf diesem Wege einen herzlichen Glückwunsch! Ebenfalls einen herzlichen Dank an die Gutachter und unseren Vizesekretär Ralf Müller, der das Verfahren organisiert.

### GAMM-Juniors

Die GAMM-Junioren waren und sind sehr aktiv. Sie organisieren u.a. erneut im Rahmen der Jahrestagung eine Postersession, um die wissenschaftlichen Arbeiten der Mitglieder vorzustellen, ein jährliches Treffen und eine Summerschool, in 2017 zu dem Thema „Bayesian Inference: probabilistic learning from data“. Gleich im Anschluss findet das Event „Young Academics in Applied Mathematics and Mechanics luncheon“ statt. Zudem haben die GAMM-Junioren vorgeschlagen, ein GAMM student journal zu gründen.

### GAMM-Nachwuchsgruppen

Um auch Masterstudenten und Doktoranden an die GAMM zu binden, versuchen wir GAMM Nachwuchsgruppen zu etablieren. Die Grundidee ist das Bilden einer dauerhaften Plattform an den einzelnen Universitäten, durch die die Mitglieder der Nachwuchsgruppe in ihren Forschungsvorhaben unterstützt werden und durch die Kontakte zu anderen jungen Forschern und ehemaligen Doktoranden hergestellt und aufrecht erhalten werden. Typische Aktivitäten sind Vorträge der Mitglieder der Nachwuchsgruppe über ihre Forschung, Präsentationen von Professoren über ihr Forschungsgebiet, von Doktoranden anderer Universitäten und von Mathematik/Mechanik nahen Beschäftigten in Industrie und Wirtschaft, Exkursionen zu Mathematik/Mechanik-bezogenen Forschungsinstituten und anderen interessanten Unternehmen in Industrie und Wirtschaft, sowie auch rein soziale Aktivitäten wie gemeinsames Grillen. Genauere Informationen zu den Nachwuchsgruppen finden Sie auf den GAMM-Webseiten.

### Fachausschüsse

Drei Fachausschüsse haben Evaluationsberichte vorgelegt. Dies sind der Ausschuss „Analysis partieller Differentialgleichungen“ unter der Leitung von Helmut Abels (Regensburg), der Ausschuss „Angewandte und Numerische Lineare Algebra (ANLA)“ unter der Leitung von Jörg Liesen (Berlin) und Stefan Güttel (Manchester). Der dritte zur

Evaluierung anstehende Fachausschuss ist der Fachausschuss „Phasenfeldmodellierung“ unter der Leitung von Ralf Müller (Kaiserslautern) und Bernd Markert (Aachen). Die beantragten Verlängerungen wurden vom Vorstandsrat empfohlen.

Ferner liegen drei Einrichtungsanträge vor. Ein Antrag wurde von den Kollegen Oliver Röhrle, Universität Stuttgart und Tim Ricken, Universität Stuttgart für den neuen Fachausschuss „Computational Biomechanics“ vorgelegt. Zwei weitere Anträge beziehen sich auf Fachausschüsse, die den Regeln entsprechend nach 12 Jahren eingestellt wurden und nun leicht geändert weitergeführt werden sollen. Dies betrifft zum einen den seit 2007 aktiven Fachausschuss „Angewandte Operatortheorie“. Hier hat die Kollegin Birgit Jacob, Bergische Universität Wuppertal einen entsprechenden Antrag gestellt. Zum anderen soll der seit 2008 aktive Fachausschuss „Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen“ weitergeführt werden. Der Einrichtungsantrag wurde von dem Kollegen Winnfried Wollner, TU Darmstadt vorgelegt. Alle Anträge wurden fristgerecht vorgelegt und vom Vorstandsrat zur Einrichtung empfohlen.

Zu diesem Thema wird unser Vizesekretär Ralf Müller später noch ausführlich berichten.

### Wahlen 2017/18

Nun noch ein paar Worte zu den diesjährigen Wahlen. Viele von Ihnen werden schon im Rahmen der elektronischen Wahl, die in der Zeit vom 14. Februar bis zum 14. März möglich war, Ihr Wahlrecht ausgeübt haben.

Die dreijährige Amtszeit einiger Mitglieder des Vorstandsrats läuft Ende dieses Jahres ab. Dies betrifft aus dem Vorstandsrats Rolf Lammering, Christian Wieners und Robert Seifried.

Ich möchte dem Kollegen Seifried an dieser Stelle sehr herzlich für seine bisherige konstruktive Mitarbeit im Vorstandsrat der GAMM und für seine Bereitschaft zur erneuten Kandidatur danken. Ein ganz besonderer Dank geht an unsere Vorstandsratsmitglieder Rolf Lammering und Christian Wieners, die beide nach 6 Jahren aus ihren Ämtern ausscheiden. Für die Nachfolge von Herrn Lammering steht Tim Ricken zur Wahl und für Herrn Wieners steht Roland Herzog zur Wahl.

Alle diejenigen, die an der elektronischen Wahl nicht teilgenommen haben, haben gleich noch die Möglichkeit, ihre Stimme per Urnenwahl anzugeben.

Ich möchte zum Abschluss meines Berichts noch sehr kurz auf einige wenige weitere Punkte eingehen.

### Nationale Sektionen der GAMM

Zu den nationalen Sektionen kann ich berichten, dass die Sektionen in Bulgarien und Tschechien aktiv sind und mir vor kurzem Berichte über ihre Tätigkeit geschickt haben. Aus Polen liegt ein Antrag auf Einrichtung einer nationalen Sektion vor. Die Sektionen aus Tschechien und Polen waren jeweils durch einen Vertreter in der erweiterten Vorstandsratsitzung vertreten.



Gestern gab es eine intensive Diskussion über die Aufgaben und das Selbstverständnis der DEKOMECH. Ich werde zunächst der in der Diskussion mehrfach aufgeworfenen Frage, warum die angewandte Mathematik sich nicht in ähnlicher Weise organisiert, nachgehen und Kollegen und Kolleginnen aus der angewandten Mathematik zu einem Gespräch darüber einladen.

### Zukunftsfragen

Der Zukunftsausschuss der GAMM hat unter Leitung unseres Vizepräsidenten Wolfgang Ehlers getagt. Es wurden erneut einige Vorschläge zu Verbesserung der Kommunikation und einiger Abläufe gemacht. Hier kann ich nur versprechen, dass wir tun, was wir können. Aber manches dauert definitiv länger als wünschenswert, da wir alle samt unsere Aktivitäten für die GAMM neben dem normalen Tagesgeschäft erledigen.

Der erweiterte Vorstandsrat hat eine kleine Gleichstellungskommission eingerichtet, die sich insbesondere darum kümmern wird, dass es zukünftig mehr Vorschläge für Preisträgerinnen und weibliche Hauptvortragende geben wird.

### GAMM-Repräsentanten

Wir gehen davon aus, dass nahezu alle Hochschulen mit GAMM-Beteiligung ihre GAMM-Repräsentanten benannt haben. Bitte schauen Sie diesbezüglich auf die GAMM-Homepage. Sollten Sie feststellen, dass Ihre Hochschule nicht aufgeführt ist, bitten wir Sie, uns dies mitzuteilen und uns einen GAMM-Repräsentanten zu benennen. Wie schon im letzten Jahr habe ich auch dieses Mal den Kolleginnen und Kollegen, die als GAMM-Repräsentanten fungieren, ein Gespräch u.a. über die wesentlichen Neuerungen innerhalb der GAMM angeboten. Ich hoffe, dass wir so besser ins Gespräch kommen.

Ich wünsche Ihnen weiterhin eine angenehme Tagung und danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

## WISSENSCHAFTLICHE VERANSTALTUNGEN

### GAMM

Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik, <http://www.gamm-ev.de>

Tagungsjahr 2018/ 2019

**90. GAMM Jahrestagung in Wien**  
**18.-22.02.2019**

[www.jahrestagung.gamm-ev.de/index.php/2019/90th-annual-meeting](http://www.jahrestagung.gamm-ev.de/index.php/2019/90th-annual-meeting)

**Angewandte Operatortheorie**

[www.gamm-ot.uni-wuppertal.de/](http://www.gamm-ot.uni-wuppertal.de/)

**Stochastische Optimierung in der Technik**

[gamm-sc.mathematik.uni-karlsruhe.de/index.html](http://gamm-sc.mathematik.uni-karlsruhe.de/index.html)

**Dynamik und Regelungstheorie**

[www.ifatwww.et.uni-magdeburg.de/syst/GAMMFA/gammfa.shtml](http://www.ifatwww.et.uni-magdeburg.de/syst/GAMMFA/gammfa.shtml)

**Analysis von Mikrostrukturen**

[www.iam.uni-bonn.de/aaa2/gamm-fa/](http://www.iam.uni-bonn.de/aaa2/gamm-fa/)

**Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen**

[www.gamm.optpde.net](http://www.gamm.optpde.net)

**Computational Science and Engineering (CSE)**

[www.uni-stuttgart.de/gamm/fa-cse](http://www.uni-stuttgart.de/gamm/fa-cse)

**Mathematische Signal- und Bildverarbeitung**

[www3.math.tu-berlin.de/numerik/GAMM-MSIP/](http://www3.math.tu-berlin.de/numerik/GAMM-MSIP/)

**Uncertainty Quantification**

[www.numhpc.org/AGUQ](http://www.numhpc.org/AGUQ)

**Angewandte und Numerische Lineare Algebra**

[www.maths.manchester.ac.uk/gamm-anla/](http://www.maths.manchester.ac.uk/gamm-anla/)

**Phasenmodellierung**

[www.mv.uni-kl.de/itm/forschung/GAMM-FA\\_PFM](http://www.mv.uni-kl.de/itm/forschung/GAMM-FA_PFM)

**Analysis partieller Differentialgleichungen**

<http://www.uni-regensburg.de/mathematics/partial-differential-equations/index.html>

**Data-driven Modeling and Numerical Simulation for Microstructured Materials**

[www.mechbau.uni-stuttgart.de/EMMA/ag-data](http://www.mechbau.uni-stuttgart.de/EMMA/ag-data)

**Modeling, Analysis and Simulation of Molecular Systems**

<https://moansi.wixsite.com/gamm>

**Experimentelle Festkörpermechanik**

<https://www.itm.tu-clausthal.de/institut/abteilungen/abteilung-festkoerpermechanik/gamm-fa-experimental-solid-mechanics/home/>

**Numerische Analysis**

[https://www.igpm.rwth-aachen.de/gamm\\_numerical\\_analysis](https://www.igpm.rwth-aachen.de/gamm_numerical_analysis)

Weitere Tagungen sind auf der GAMM-Homepage <http://www.gamm-ev.de> einzusehen.

**ICIAM**

International Council for Industrial and Applied Mathematics  
<http://www.iciam.org/>

**IUTAM**

International Union of Theoretical and Applied Mechanics, [www.iutam.net](http://www.iutam.net)

**ECCOMAS**

European Community on Computational Methods in Applied Sciences, [www.cimne.com/eccomas](http://www.cimne.com/eccomas)

**EUROMECH**

European Mechanics Society  
[www.euromech.org](http://www.euromech.org)

**EMS**

European Mathematical Society  
[www.euro-math-soc.eu/](http://www.euro-math-soc.eu/)

**MFO**

Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach  
[www.mfo.de](http://www.mfo.de)

**CISM**

International Centre for Mechanical Sciences  
[www.cism.it](http://www.cism.it)

Weitere interessante wissenschaftliche Veranstaltungen können Sie auf den Links der einzelnen Organisationen einsehen.

# RICHARD-VON-MISES-PRIZE 2018

## LAUDATIO FÜR HERR PROF. DR. MARC AVILA (BREMEN) FÜR DIE AUSZEICHNUNG MIT DEM RICHARD-VON-MISES-PREIS DER GESELLSCHAFT FÜR ANGEWANDTE MATHEMATIK UND MECHANIK

Herr Avila studierte Mathematik (mit Auszeichnung) an der Universität Autònoma de Barcelona und an der University of Glasgow. Am Institut für Angewandte Physik der Universität Politècnica de Catalunya in Barcelona promovierte er von 2005 bis 2008 mit dem Prädikat summa cum laude. In dieser Zeit entschied er sich für eine internationale wissenschaftliche Laufbahn und verbrachte die Hälfte seiner Promotionszeit an der Arizona State University, wo er als Gastwissenschaftler an der School for Mathematical Sciences and Statistics forschte. Es folgte ein Aufenthalt als Postdoktorand am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen, bevor er 2011 im Alter von nur 30 Jahren dem Ruf der Friedrich-Alexander-Universität nach Erlangen folgte. Dort war er Professor für Simulation in der Nano- und Mikrofluidmechanik am Lehrstuhl für Strömungsmechanik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Er ist seit März 2016 zum Leiter des Zentrums für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM) und zum Professor für Strömungsmechanik im Fachbereich Produktionstechnik - Maschinenbau und Verfahrenstechnik - der Universität Bremen berufen worden.

Seit seiner Promotion hat sich Herr Avila intensiv mit der Mechanik und Physik des Turbulenzübergangs auseinandergesetzt. Turbulenz ist allgegenwärtig in der Natur und Technik, von dem Transport von Fluiden in Rohrleitungen bis hin zur Entstehung von Sonnensystemen in Akkretions-scheiben. Genau in diesen beiden relevanten Systemen ist es unklar, wie Turbulenzen entstehen. In den letzten sechs Jahren hat Herr Avila bedeutsame Beiträge geleistet, um diese Rätsel zu lösen.

Die Experimente und die theoretischen Überlegungen von Osborne Reynolds initiierten gegen Ende des 19. Jahrhunderts die Turbulenz als neues Forschungsgebiet. In seinen Versuchen, den kritischen Punkt zum Turbulenzübergang zu ermitteln, entdeckte Reynolds, dass die Entstehung von Turbulenzen in seinem Experiment von der Stärke der Störungen aus der Umgebung bestimmt wurde. Er fasste dann zusammen: „This at once suggested the idea that the condition might be one of instability for disturbance of a certain magnitude and stable for smaller

disturbances“. Dieser Satz hat Generationen von Physikern, angewandten Mathematikern und Ingenieuren beschäftigt. William McFadden Orr und Arnold Sommerfeld linearisierten erstmals die Navier-Stokes Gleichungen, um das Wachstum von infinitesimalen Störungen auf einer laminaren Strömung zu bestimmen. Basierend auf die Orr-Sommerfeld Gleichungen zeigte Richard von Mises, dass die Couette Strömung zwischen zwei ebene Platten bei allen Reynoldszahlen linear stabil ist. Im Gegenteil zu vielen seiner Zeitgenossen vermutete von Mises, genau wie Osborne Reynolds, dass die in den Experimenten beobachtete Instabilität nichtlinearer Natur war.

Der kritische Punkt für die Rohrströmung wurde in 2011 im Rahmen einer experimentellen-numerischen Kooperation bestimmt, in Rahmen dessen Herr Avila für die (direkte numerische) Simulation zuständig war. Die Rohrströmung bleibt erst turbulent, wenn die Ausbreitungsrate der Turbulenzflecken schneller ist wie deren Zerfallsrate. In einem darauffolgenden Paper konnten Herr Avila und Kollegen zeigen, dass dieselben nichtlinearen Mechanismen auch den Turbulenzübergang in der Couette Strömung bestimmen. Ferner vermutete Yves Pomeau in 1986, dass der Turbulenzübergang zur Universalitätsklasse der gerichteten Perkolation gehören soll. Im Rahmen einer weiteren experimentellen-numerischen Kooperation wurde diese Vermutung von Yves Pomeau für die Couette Strömung bestätigt. Diese Beiträge stellen eine Lösung des Turbulenzproblems, im Sinne der Vermutung von Richard von Mises und seine Zeitgenossen dar. Die Simulationen und theoretischen Überlegungen von Herrn Avila spielten in diesen kooperativen Arbeiten eine zentrale Rolle.

Aus der Perspektive der nichtlinearen dynamischen Systeme, stellt sich die Frage welche Bifurkationen im Phasenraum zur chaotischen Bewegung in der Rohrströmung führen. Herr Avila entdeckte die ersten lokalisierten kohärenten Lösungen der Rohrströmung. Diese Lösungen sind räumlich komplex, aber in einem mitbewegten System zeitlich periodisch (relativ-periodische Orbits). Sie entstehen in Sattel-Knoten Bifurkationen und werden durch sekundäre Bifurkationen chaotisch. Diese Arbeit stellt eine erste Verbindung zwischen den Bifurkationen im Phasenraum



und der räumlichen Lokalisierung der Turbulenz her. Seit 2013 beschäftigen sich mehrere Gruppen weltweit damit, lokalisierte Lösungen in anderen Strömungen zu finden und deren Bifurkationen zu untersuchen.

Aufgrund des Drehimpulssatzes kann die Akkretion von Gas und Partikeln in keplerschen Akkretionsscheiben, und die damit verbundene Entstehung von Sonnensystemen, nur dann stattfinden, wenn die schnell rotierende Gasströmung turbulent ist. Die Existenz von Turbulenz in Akkretionsscheiben erscheint im ersten Blick plausibel. Denn die Reynoldszahlen sind enorm in astrophysikalischen Strömungen. Laminare keplersche Strömungen (mit Winkelgeschwindigkeit proportional zu  $r^{2/3}$ ) sind aber laut dem bekannten Kriterium von Lord Rayleigh linear stabil. Sind sie auch nichtlinear stabil? Die Frage wurde in den letzten zehn Jahren mit Hilfe von Experimenten intensiv untersucht. Die Simulationen von Lopez und Avila, zusammen mit Experimenten der Gruppe von Hantao Ji in Princeton, konnten diese Frage beantworten. Bis zu Reynoldszahlen von etwas über einer Million sind laminare keplersche Strömungen in der Tat auch nichtlinear stabil. Die Publikation von Herrn Avila wurde von Steven Balbus in Focus on Fluids bei Journal of Fluid Mechanics rezensiert. Herr Balbus und sein Kollege John Hawley entdeckten bereits 1991, dass keplersche Strömungen leitfähiger Fluide linear instabil sind, wenn sie mit einem geeigneten magnetischen Feld angeregt werden. Für diese Entdeckung erhielten sie

den Wolf-Prize für Physik. Aber woher kommt das magnetische Feld? In einem in Physical Review Letters angenommenen Artikel konnte eine Gruppe um Hern Avila zeigen, wie solche magnetische Felder durch einen Dynamo-Prozess entstehen können. Obwohl eine laminare keplersche Strömung zu einfach ist, um einen Dynamo-Prozess zu unterstützen, können nichtlineare selbstverstärkende Mechanismen sowohl Turbulenz als auch magnetisches Feld spontan erzeugen. Dafür reicht eine starke Störung des gekoppelten Systems. Herr Avila hat in diesem Gebiet mehrere Arbeiten veröffentlicht, die einen bedeutsamen Einfluss auf die astrophysikalischen und die strömungsmechanischen Communities ausgeübt haben.

Insgesamt reicht die Arbeit von Herrn Avila von Problemen der Grundlagenforschung der Turbulenz, die Ludwig Prandtl, Werner von Heisenberg und viele andere prominente Wissenschaftler beschäftigten, bis hin zu Strömungen in der Astrophysik oder in jungen Zeit Verfahrenstechnik. Herr Avila hat somit schon im Alter von 36 Jahren bedeutende Beiträge zur Theoretischen Strömungsmechanik geleistet. Möge die Verleihung des Richard-von-Mises Preises Herrn Avila Ansporn für weitere kreative und originelle wissenschaftliche Arbeiten sein.

Author: Prof. Dr. André Thess

Lecturer: Prof. Dr. Heike Faßbender

## AUFRUF • CALL

**Für die Jahrestagung 2020 in Kassel,  
16. – 20. März,  
veranstaltet die GAMM einen  
Wettbewerb zur Einreichung von**

**For its Annual Meeting 2020 in Kassel  
March 16 - 20,  
GAMM is arranging a Competition for  
Submission of**

## NACHWUCHS- MINISYMPOSIEN

## YOUNG RESEARCHERS MINISYMPOSIA

Wie die klassischen Minisymposien soll sich auch ein Nachwuchs-Minisymposium auf ein spezifisches, aktuelles Forschungsthema konzentrieren. Es stehen zwei Stunden zur Verfügung mit vier bis sechs Vorträgen. Um ein Nachwuchs-Minisymposium bewerben sich zwei Organisatoren von zwei verschiedenen Institutionen. Wie alle Vortragenden sollten sie höchstens 35 Jahre alt und noch nicht zum/zur („tenured“) Professor/in ernannt sein. Die Vortragenden sollen ebenfalls aus verschiedenen Institutionen kommen.

Like classical minisymposia, a young researchers' minisymposium shall focus on a specific, timely research subject. It will last two hours with four to six lectures. Two organisers from two different institutions apply for a young researchers' minisymposium. Like all other speakers, they should be at most 35 years old and not yet hold a tenured professor position. The speakers should also come from different institutions.

Das Programmkomitee wird aus den eingegangenen Bewerbungen die Nachwuchs-Minisymposien auswählen. Eine finanzielle Förderung der Teilnehmer ist nicht möglich.

From the applications received, the programme committee will select the young researchers' minisymposia. There is no financial support for the participants.

### Zeitplan:

#### **bis 31. Dezember 2018**

Einreichung von Vorschlägen per e-mail (plain ASCII) an die Geschäftsstelle: [gamm@mailbox.tu-dresden.de](mailto:gamm@mailbox.tu-dresden.de)

Die Bewerbung besteht aus einer einseitigen Zusammenfassung, den Titeln der einzelnen Vorträge sowie der Angabe von Geburtsdatum, derzeitiger Stellung und Institution für alle Organisatoren und Vortragende.

#### **16. - 20. März 2020**

Durchführung der ausgewählten Minisymposien.

### Schedule:

#### **until December 31, 2018**

Submission of proposals by e-mail (plain ASCII) to the GAMM office: [gamm@mailbox.tu-dresden.de](mailto:gamm@mailbox.tu-dresden.de)

A proposal consists of a one page abstract, the titles of all lectures and information about the date of birth and the current position and affiliation of all organisers and speakers.

#### **March 16 - 20, 2020**

Carrying out the nominated minisymposia.

## AUFRUF · CALL

## WAHLEN ZUM VORSTANDSRAT

Aufruf der Präsidentin  
mit Bitte um Wahlvorschläge zur Vorstandswahl 2019

**Wahlvorschläge**

Wahlvorschläge können bei der Geschäftsstelle der GAMM per E-Mail unter [GAMM@mailbox.tu-dresden.de](mailto:GAMM@mailbox.tu-dresden.de) eingereicht werden.

Vorschlagsberechtigt sind persönliche Mitglieder der GAMM sowie korporative Mitglieder.

Die folgenden Ämter des GAMM-Vorstandsrats sind 2019 zu wählen. Die Amtszeiten werden zum 01.01.2020 beginnen.

**Mitglieder des Vorstands**

Prof. H. Faßbender (Präsidentin), Braunschweig, Numerische Mathematik, Amtszeit bis 2019, nicht wieder wählbar

Prof. W. Ehlers (Vizepräsident), Stuttgart, Festkörpermechanik, Amtszeit bis 2019, nicht wieder wählbar

(Amt wird satzungsgemäß durch die ausscheidende Präsidentin ersetzt)

Prof. R. Müller (Vizesekretär), Kaiserslautern, Festkörpermechanik, Amtszeit bis 2019, wieder wählbar

**Mitglieder des Vorstandsrates**

Prof. H. Abels, Regensburg, Angewandte Analysis, 1. Amtszeit bis 2019, wieder wählbar

Prof. J. Eberhardsteiner, Wien, Festkörpermechanik, 2. Amtszeit bis 2019, nicht wieder wählbar

Prof. Ch. Egbers, Cottbus, Strömungsmechanik, 2. Amtszeit bis 2019, nicht wieder wählbar

Prof. B. Kaltenbacher, Klagenfurt, Angewandte Analysis, 1. Amtszeit bis 2019, wieder wählbar

Prof. A. Klawonn, Köln, Numerische Mathematik, 1. Amtszeit bis 2019, wieder wählbar

Prof. S. Leyendecker, Erlangen, Stochastik/Optimierung, 2. Amtszeit bis 2019, nicht wieder wählbar

Die Quorenregelung der Wahlordnung verlangt, dass der/die PräsidentIn von mindestens 25 Mitgliedern, der Vizesekretär von mindestens 10 Mitgliedern und die zu wählenden Mitglieder des Vorstandsrats von mindestens 5 Mitgliedern schriftlich für die Nominierung unterstützt werden. Wahlvorschläge und Unterstützungserklärungen, auch für eine Wiederwahl, müssen spätestens acht Wochen vor der Mitgliederversammlung, also bis zum 26.12.2018, bei der Geschäftsstelle eintreffen.

**Vorstandswahl 2019**

Die Stimmabgabe zur Vorstandswahl erfolgt entweder mittels Urnenwahl im Rahmen der Mitgliederversammlung der Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik e.V. in Wien am Mittwoch, den 20.02.2019, oder mittels elektronischer Stimmabgabe. Als Mitglied der GAMM erhalten Sie eine gesonderte Einladung. Stimmberechtigt sind persönliche Mitglieder der GAMM sowie namentlich benannte Delegierte der korporativen Mitglieder.

Ich bitte Sie, persönlich an der Mitgliederversammlung in München teilzunehmen und sich an der Wahl zu beteiligen. Die elektronische Stimmabgabe ist in dem Zeitraum vom 16.01.2019 bis 13.02.2019 über die Internetseite der GAMM möglich.

H. Faßbender, Präsidentin

**Mitglieder der Wahlkommission für die Vorstandswahlen 2019**

Vorsitzender: W. Ehlers, Stuttgart, Vizepräsident

Gewählte Mitglieder: L. Grüne, Bayreuth  
F. Gruttmann, Darmstadt  
U. Langer, Linz  
P. Steinmann, Erlangen

**Präsidentin:** **Prof. Heike Faßbender**  
Technische Universität Braunschweig,  
Institut Computational Mathematics,  
AG Numerik, Universitätsplatz 2  
38106 Braunschweig

**Vizepräsident:** **Prof. Wolfgang Ehlers**  
Universität Stuttgart, Institut für  
Mechanik (Bauwesen), Lehrstuhl II,  
Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart

**Sekretär:** **Prof. Michael Kaliske**  
Technische Universität Dresden  
Institut für Statik und Dynamik der  
Tragwerke, Fakultät Bauingenieurwesen,  
01062 Dresden

**Vizesekretär:** **Prof. Ralf Müller**  
Technische Universität Kaiserslautern,  
Lehrstuhl für Technische Mechanik  
Postfach 3049, 67653 Kaiserslautern

**Schatzmeisterin:** **Prof. Andrea Walther**  
Universität Paderborn, Lehrstuhl für  
Mathematik und ihre Anwendungen,  
Institut für Mathematik,  
Warburger Str. 100  
33098 Paderborn

### Weitere Mitglieder des Vorstandsrates

**Prof. Dr. Helmut Abels**  
Universität Regensburg, Fakultät für Mathematik,  
Universitätsstraße 31, 93053 Regensburg

**Prof. Günter Brenn**  
Technische Universität Graz  
Institut für Strömungsdynamik und Wärmeübertragung  
Inffeldgasse 25/F, A-8010 Graz

**Prof. Josef Eberhardsteiner**  
Technische Universität Wien, Institut für Mechanik der  
Werkstoffe und Strukturen,  
Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich

**Prof. Christoph Egbers**  
Brandenburgische Technische Universität Cottbus  
Fakultät Maschinenbau, Elektrotechnik und  
Wirtschaftsingenieurwesen, Institut für Verkehrstechnik  
Siemens-Halske-Ring 14, 03046 Cottbus

**Prof. Barbara Kaltenbacher**  
Alpen-Adria-Universität Klagenfurt,  
Institut für Mathematik,  
Universitätsstr. 65-67, A-9020 Klagenfurt, Austria

**Prof. Axel Klawonn**  
Universität zu Köln,  
Mathematisches Institut,  
Weyertal 86-90, 50931 Köln

**Prof. Gitta Kutyniok**  
Technische Universität Berlin  
Institut für Mathematik,  
Straße des 17. Juni 136, 10623 Berlin

**Prof. Rolf Lammering**  
Helmut-Schmidt-Universität der Bundeswehr Hamburg  
Fachbereich Maschinenbau, Institut für Mechanik,  
22039 Hamburg

**Prof. Sigrid Leyendecker**  
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg  
Lehrstuhl für Technische Dynamik,  
Haberstraße 1, 91058 Erlangen

**Prof. Udo Nackenhorst**  
Leibniz Universität Hannover  
Institut für Baumechanik und Numerische Mechanik  
Appelstraße 9a, 30167 Hannover

**Prof. Robert Seifried**  
Technische Universität Hamburg-Harburg, Mechanik und  
Meerestechnik,  
Eißendorfer Straße 42 (M), 21073 Hamburg

**Prof. Christian Wieners**  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Fakultät für  
Mathematik, Institut für Angewandte und Numerische  
Mathematik, Arbeitsgruppe 3: Wissenschaftliches  
Rechnen,

### Beratende Mitglieder des Vorstandsrates

**Prof. em. Dr. Götz Alefeld**  
Universität Karlsruhe (TH), Fakultät f. Mathematik, Institut f.  
Angewandte Mathematik, Postfach 6980, 76128 Karlsruhe

**Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. mult. Dr. h.c. Oskar Mahrenholtz**  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Institut für Mechanik und Meerestechnik  
Eißendorfer Straße 42, 21071 Hamburg

**Prof. em. Dr. rer. nat. Reinhard Mennicken**  
Universität Regensburg NWF I / Mathematik  
93053 Regensburg

**o. Prof. i.R. Dr. Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Friedrich Pfeiffer**  
Technische Universität München, Lehrstuhl B für  
Mechanik, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching

**Prof. em. Dr.-Ing. Dr. techn. E.h. Dr. h.c. Jürgen Zierep**  
Universität Karlsruhe, Institut für Strömungslehre  
und Strömungsmaschinen, 76128 Karlsruhe

### Kassenprüfer

**Prof. Margareta Heilmann**  
Bergische Universität Wuppertal  
Fachbereich 7 - Mathematik

**Prof. Birgit Jacob**  
Bergische Universität Wuppertal  
Fachbereich Mathematik und Naturwissenschaften

## EHRENMITGLIEDER DER GAMM

**Ehrenvorsitzender**

Prof. Dr. Ludwig Prandtl (1950)  
† 15. August 1953

**Ehrenmitglieder**

Prof. Dr. Theodor von Kármán (1956)  
† 7. Mai 1963

Prof. Dr. Aurel Stodola  
† 25. Dezember 1942

Prof. Dr. Henry Görtler (1980)  
† 31. Dezember 1987

Prof. Dr. Felix Klein (1924)  
† 22. Juni 1925

Prof. Dr. Lothar Collatz (1980)  
† 26. September 1990

Prof. Dr. Eric Reissner (1992)  
† 1. November 1996

Prof. Dr. Klaus Kirchgässner (2011)  
† 09. Juli 2011

Prof. Dr. Wolfgang Haack (1992)  
† 28. November 1994

Prof. Dr.-Ing. Erwin Stein (2011)

Prof. Dr. Helmut Heinrich (1993)  
† 14. Januar 1997

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zierep (1999)

Prof. Dr. Klaus Oswatitsch (1993)  
† 1. August 1993

Prof. Dr.-Ing. Oskar Mahrenholtz (1997)

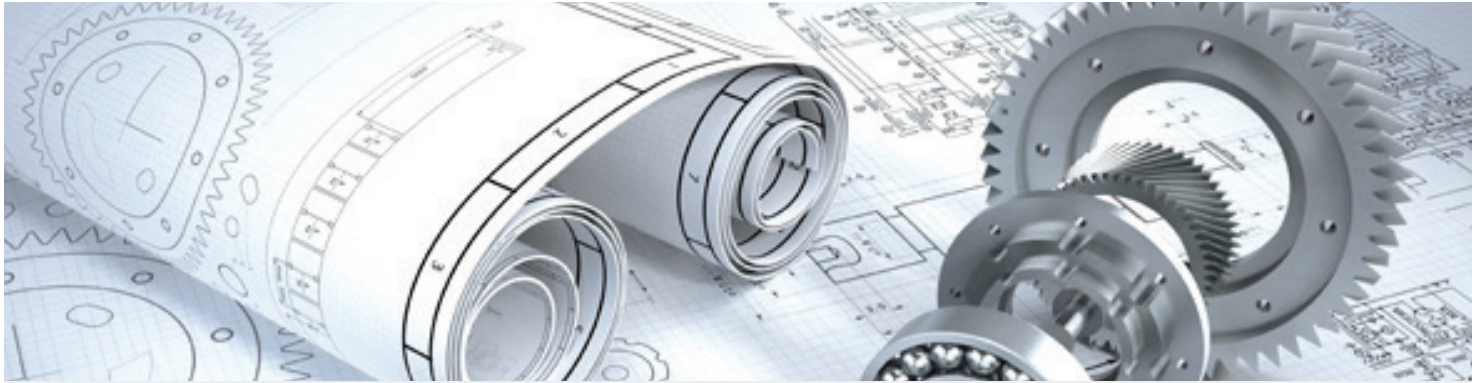
Prof. Dr. Kurt Magnus (1993)  
† 15. Dezember 2003

**PERSONALIA**

Todesfälle, wir gedenken:

Prof. Dr. Helen Aleksandrovna Kosachevskaya, Moskau  
Prof. Dr. Donald C. Pack, Glasgow  
Prof. Dr. Willi Törnig, Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Jan Vrbka, Brno  
Prof. Dr.-Ing. Siegfried Wagner, Stuttgart



# Die Grundlagenwerke zur technischen Mechanik



D. Gross, W. Hauger, J. Schröder, W.A. Wall

## Technische Mechanik 1 Statik

13. Aufl. 2016. IX, 300 S. 187 Abb. in Farbe. Brosch.

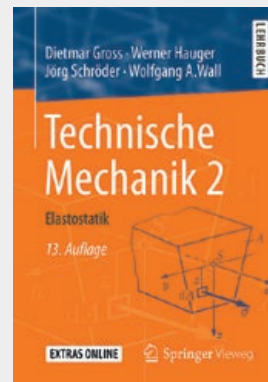
€ (D) 25,00 | € (A) 25,70 | \*sFr 26,00

ISBN 978-3-662-49471-4

€ 19,99 | \*sFr 20,50

ISBN 978-3-662-49472-1 (eBook)

Band 1 Statik ist der erste Teil der vierbändigen Lehrbuchreihe. Er erscheint nun in der 13. Auflage. Ziel des didaktisch ausgefeilten Werkes ist es, das Verständnis der wesentlichen Grundgesetze der Mechanik zu vermitteln und die Fähigkeit zu entwickeln, mit Hilfe der Mechanik Ingenieurprobleme zu formulieren und selbständig zu lösen.



D. Gross, W. Hauger, J. Schröder, W.A. Wall

## Technische Mechanik 2 Elastostatik

13. Aufl. 2017. XV, 309 S. 147 Abb. in Farbe. Brosch.

€ (D) 25,00 | € (A) 25,70 | \*sFr 26,00

ISBN 978-3-662-53678-0

€ 19,99 | \*sFr 20,50

ISBN 978-3-662-53679-7 (eBook)

Der Band Elastostatik ist der zweite Teil des vierbändigen Lehrbuchs. Er erscheint nun ebenfalls in der 13. Auflage. Der dargestellte Stoff orientiert sich am Umfang der Mechanikkurse an deutschsprachigen Hochschulen und ist für alle Bachelor-, Master- und Diplomstudiengänge hervorragend geeignet.



D. Gross, W. Ehlers, P. Wriggers, J. Schröder, R. Müller

## Formeln und Aufgaben zur Technischen Mechanik 1 Statik

12. Aufl. 2016. IX, 236 S. Brosch.

€ (D) 17,99 | € (A) 18,49 | \*sFr 18,50

ISBN 978-3-662-52714-6

€ 12,99 | \*sFr 14,50

ISBN 978-3-662-52715-3 (eBook)



D. Gross, W. Ehlers, P. Wriggers, J. Schröder, R. Müller

## Formeln und Aufgaben zur Technischen Mechanik 2 Elastostatik, Hydrostatik

12. Aufl. 2017. IX, 212 S. Brosch.

€ (D) 22,99 | € (A) 23,64 | \*sFr 24,00

ISBN 978-3-662-53674-2

€ 16,99 | \*sFr 19,00

ISBN 978-3-662-53675-9 (eBook)

€ (D) sind gebundene Ladenpreise in Deutschland und enthalten 7 % für Printprodukte bzw. 19 % MwSt. für elektronische Produkte. € (A) sind gebundene Ladenpreise in Österreich und enthalten 10 % für Printprodukte bzw. 20 % MwSt. für elektronische Produkte.

Die mit \* gekennzeichneten Preise sind unverbindliche Preisempfehlungen und enthalten die landesübliche MwSt. Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten.

Jetzt bestellen auf [springer-vieweg.de](http://springer-vieweg.de) oder in Ihrer Buchhandlung

Part of **SPRINGER NATURE**